



Selma Rizvić

NAPREDNE TEHNIKE KOMPJUTERSKE GRAFIKE

dr Selma Rizvić

Napredne tehnike kompjuterske grafike

Sarajevo, 2010.

dr Selma Rizvić
Napredne tehnike kompjuterske grafike

Prvo izdanje, Sarajevo, 2010

Izdavač:

5D-CaDD Sarajevo

Ilustracije:

Mirsad Festa

DTP:

Jasmin Leventić

Autor fotografije na koricama:

Vedad Hulusić

Dizajn korica:

Selma Rizvić

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i univerzitetska biblioteka
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

004.92(075.8)

RIZVIĆ, Selma
Napredne tehnike kompjuterske grafike / Selma
Rizvić ; [ilustracije Mirsad Festa]. - 1. izd. -
Sarajevo : Elektrotehnički fakultet, 2010. - 207
str. : ilustr. ; 24 cm

Bibliografija: str. 199-206

ISBN 978-9958-629-38-9
COBISS.BH-ID 18327814

SADRŽAJ

1.	Uvod	7
2.	Kompjuterska animacija	11
2.1.	Osnovni koncepti kompjuterske animacije	13
2.2.	Tehnike kompjuterske animacije	26
2.3.	Napredne tehnike kompjuterske animacije	30
2.4.	Compositing	36
2.5.	Proces digitalne produkcije	60
3.	Rendering	67
3.1.	Globalno osvjetljenje u kompjuterskoj grafici	69
3.2.	Raytracing	70
3.3.	Radiosity	76
3.4.	Monte Carlo tehnike globalnog osvjetljenja	84
4.	Modeliranje i rendering na bazi slika (IBMR)	85
4.1.	Čiste tehnike renderinga na bazi slika	87
4.2.	Hibridne tehnike renderinga na bazi slika	93
4.3.	Modeliranje na bazi slika	96
5.	Broadcast grafika	103
5.1.	Osnovni koncepti i razvoj televizije	105
5.2.	Forme TV dizajna	115
6.	Tehnike laserskog skeniranja	119
6.1.	Vrste laserskih skenera	121
6.2.	Procesiranje skeniranih podataka	122
6.3.	Primjeri projekata laserskog skeniranja objekata kulturnog naslijeđa u BiH	123
7.	Tehnike 3D štampe	127
8.	Kompjuterska grafika u digitalizaciji kulturnog naslijeđa	135
8.1.	Uvod	137
8.2.	Prvi projekti digitalizacije	137
8.3.	Virtualna rekonstrukcija Isa-begove tekije u Sarajevu	138
8.4.	Virtualna rekonstrukcija Crkve Sv. Trojice u Mostaru	141
8.5.	Virtualni muzej BH tradicionalnih predmeta	143
8.6.	Digitalni katalog stećaka	144
8.7.	Zaključak	145
9.	Vježbe	147
9.1.	Biped animacija pokreta	149
9.2.	Facijalna animacija	155
9.3.	Adobe After Effects	158
9.4.	Photomodeler	164
10.	Literatura	199

1

Uvod

Kompjuterska grafika je oblast koja se veoma brzo razvija. Spektar polja njene upotrebe je sve širi. Ova knjiga je pokušaj da se predstavi nekoliko najvažnijih naprednih tehnika kompjuterske grafike i omogući čitaocu da stane u korak sa razvojem ove oblasti, barem na kratko vrijeme, dok se u narednim godinama ne pojave nove i naprednije metode i tehnologije.

Ova knjiga je u prvom redu namijenjena studentima Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu, kao udžbenik na predmetu “Numerička grafika i animacija”, koji se predaje na I godini Masters studija. Pored studenata, ona je namijenjena i onima koje zanima naučno-istraživački rad iz kompjuterske grafike, kao i onima koji se bave oblastima primjene kompjuterske grafike i žele proširiti svoje znanje.

Poglavlje **Kompjuterska animacija** objašnjava osnovne koncepte animacije počevši od 12 Diznijevih principa, pa sve do savremenih izraza animiranog filma uslovljenih razvojem kompjuterske grafike. Obrađuju se osnovne i napredne tehnike kompjuterske animacije, compositing i daje prikaz složenog procesa digitalne produkcije.

Poglavlje **Rendering** se bavi globalnom iluminacijom kompjuterski generisanih scena, koja omogućava veoma realističan izgled izrendanih slika. Objašnjavaju se principi raytracing-a, radiosity-ja i neki napredni algoritmi renderinga.

Modeling i rendering na bazi slika omogućavaju jednostavno kreiranje objekata na osnovu skupa fotografija i njihovo realistično rendanje. U ovom poglavlju detaljno je objašnjena tehnika fotogrametrije.

Televizijska i filmska industrija uvjetovale su razvoj posebne oblasti kompjuterske grafike pod nazivom **Broadcast grafika**. U istoimenom poglavlju opisaćemo osnovne karakteristike ove oblasti, te njena ograničenja u domenu analognog signala i prevazilaženje tih ograničenja u domenu digitalnog tv signala.

Tehnike laserskog skeniranja i 3D štampe uzrokovale su revoluciju u procesu modeliranja i rapid prototyping-a. Zahvaljujući njima moguće je kreirati veoma precizne modele objekata koji se ne mogu modelirati klasičnim tehnikama. Te modele je moguće odštampati u tri dimenzije i na taj način kreirati njihove fizičke replike. Osnove ovih tehnika i naša iskustva u njihovoj primjeni dati su u poglavljima **Tehnike laserskog skeniranja** i **Tehnike 3D štampe**.

Jedna od oblasti gdje je sve intenzivnija primjena kompjuterske grafike je i **digitalizacija kulturnog naslijeđa**. Ona omogućava digitalnu prezervaciju objekata, kao i virtuelnu rekonstrukciju onih koji su oštećeni ili više ne postoje. Nekoliko projekata koje smo radili predstavljeno je u istoimenom poglavlju.

U radu sa studentima poseban akcenat stavljamo na sticanje praktičnih vještina. U poglavlju **Vježbe** dati su tutoriali koje studenti moraju proći u okviru predmeta “Numerička grafika i animacija” da bi mogli uraditi laboratorijske projekte. Ovdje se mogu naučiti animacija pokreta pomoću Biped konstrukcije i facijalna animacija u 3ds max-u, compositing u Adobe After Effects-u i kreiranje 3D modela tehnikom unaprijedene fotogrametrije u Photomodeler-u.

2

Kompjuterska animacija

2.1. Osnovni koncepti kompjuterske animacije

2.1.1. Tipovi animacije

Većina ljudi je u svom djetinjstvu pokušavala na rubovima stranica bloka nacrtati crtež lika u raznim pozama. Kada se brzo zavrte stranice bloka, dobije se utisak da se lik kreće. Ovakve igre se mogu smatrati pretečama animacije. Postale su popularne krajem 19-tog stoljeća.

Većina principa animacije je uspostavljena u prve dvije dekade 20-tog stoljeća i usavršena rukom crtanim animacijama u tridesetim i četrdesetim godinama istog stoljeća. Neke tehnike kompjuterske animacije kreiraju sekvence statičnih slika, ali većinom su to danas kompjuterski bazirane simulacije trodimenzionalnih scena i likova [1]. Mnoge trodimenzionalne tehnike kompjuterske animacije su nastale na osnovu ranijih metoda, kao što su rukom crtana animacija, stop-motion animacija i performance animacija.

Animirati znači udahnuti život u neživi objekat, sliku ili crtež. “Anima” znači duša na latinskom jeziku. Animacija je umjetnost pokreta izražena slikama koje nisu direktno uzete iz realnosti [1]. U animaciji se iluzija pokreta postiže brzim prikazivanjem više statičnih slika (frejmova) u sekvenci.

Kompjuterska animacija je proces koji počinje sa razvojem priče kroz pisanje scenarija i storyboarda, nastavlja pažljivim planiranjem procesa produkcije i završava produkcijom animacije na film, video ili digitalni medij. Za uspjeh projekta najvažnija je dobra priča.

Rukom crtana animacija

Najpoznatija tehnika tradicionalne animacije je rukom crtana animacija. Ona se još zove i cel animacija. Najprije se crta sekvenca crteža olovkom na papiru. Zatim se ti crteži snimaju kamerom čitačem da bi se kreirao pregled pokreta (pencil test). Kada je autor zadovoljan ovom grubom animacijom, crteži se šalju na “čišćenje” (clean-up). Nakon čišćenja radi se bojenje (ink and paint), gdje se linije crtane olovkom iscrtavaju tintom, a područja koja zatvaraju linije boje odgovarajućim bojama. Nekada je to rađeno rukom na pojedinačnim folijama od acetata (cels). Ove folije su stavljane preko pozadina i snimane na film jedan po jedan frejm. Danas se ovo radi pomoću digitalnih ink and paint sistema. Digitani fajlovi sadrže oblike u prednjem planu (foreground) koji se kreću preko pozadine (background). Ovi “slojevi” oblika i objekata se zovu layeri. Svi layeri su digitalno naslagani na background procesom compositinga [1].

Stop-motion animacija

Likovi u stop-motion animaciji su fizički modeli nekada pravljani od gline, a danas od gumene mase sa armaturom i zglobovima. Modeli se pomjeraju ručno i svaka pozicija se slika u po jedan frejm. Ova vrsta animacije se može koristiti i za postavljanje ključnih poza za 3D kompjuterski generisane likove.

Poznati filmovi napravljeni na bazi stop motion animacije su “Wallace and Gromit” i serija “Shawn the Sheep” (slike 2.1.1 i 2.1.2).

Animatronika

Animatronika je vrsta animacije u kojoj se koriste kompjuterski kontrolisani modeli koji se mogu animirati u realnom vremenu (slika 2.1.3). Ovi modeli imaju mehaničke i elektronske komponente. Obično se sastoje od metalne zglobne armature pokrivene sintetičkom kožom koja se može pomjerati pomoću servomotorora. Modeli mogu biti na sceni u isto vrijeme sa pravim glumcima, tako da nema potreba za kasnijim compositingom. Pokreti modela se programiraju i smještaju kao digitalne informacije.

Performance animacija

Najstarija forma performance animacije je lutkarstvo. Lutke mogu biti kreirane posebno ili sa lutkarom unutra. Kada se ova tehnika primijeni na kompjutersku animaciju, onda se to zove motion capture. Može se dešavati u realnom vremenu ili da se pokret registruje i kasnije doraduje. Ova tehnika unosi prirodnost pokreta u kompjutersku animaciju [1].

Karakter animacija

Ovo je najkompleksnija forma animacije jer pokušava da udahne život u virtualne likove. U većini produkcija kompjuterske animacije samo nekoliko animatora su zaduženi za kreiranje primarnog pokreta likova, dok ostali rade dotjerivanje primarnog pokreta i dodavanje sekundarnog pokreta. Karakter animacija će biti detaljnije objašnjena u narednim poglavljima.



SLIKA 2.1.1. Wallace and Gromit



SLIKA 2.1.2. Shawn the Sheep



SLIKA 2.1.3. Animatronički model Gremlina

Animacija efekata

Ova forma animacije nije orijentisana prema liku. Ona se bavi kreiranjem prirodnih pojava, specijalnih svjetlosnih efekata, iskri, sjena i sl. Ova vrsta animacije omogućava animatoru da kontroliše mnoštvo elemenata u vremenu, kao što su sistemi čestica i druge proceduralne tehnike, te dinamičke simulacije [1].

Vizuelni efekti za igrane filmove

Glavni cilj ove vrste animacije je da bude komplement igranoj formi (slika 2.1.4). Animirani elementi moraju vizuelno odgovarati pokretu, boji, svjetlu i perspektivi žive sekvence.



SLIKA 2.1.4. Lord of the Rings

2.1.2. Principi animacije

Animacija koristi mnoge principe iz pozorišta i filma, ali uvodi i neke vlastite. U ovom poglavlju ćemo objediniti 12 Dizinijevih principa animacije sa principima koji su uvedeni pojavom kompjuterske animacije.

Keyframing i In-Betweening

Jedna od dvije fundamentalne tehnike kod kompjuterske animacije je **keyframing**. Keyframing definiše animiranu sekvencu kao skup ključnih momenata. U animaciji crtanoj rukom ključni momenti su definisani ključnim crtežima – keyframe-ovima ili ekstremima (slika 2.1.5). U stop motion animaciji imamo key (ključne) poze.



SLIKA 2.1.5. Ključni frejmovi najavne špice za festival “Mali šlager”

Druga ključna tehnika je “**in-betweening**”. To je kreiranje svih crteža ili frejmova između ključnih frejmova. Radi se nakon što su definisani keyframe-ovi. U kompjuterskoj animaciji ovo se radi interpolacijom koju proračunava kompjuterski program na osnovu zadatih početnih i krajnjih momenata.

Jedinice animacije

Najmanja jedinica u kompjuterskoj animaciji je **frejm** (frame). On se sastoji od jedne statične slike. Rekli smo već da se utisak pokreta dobije kada se veliki broj statičnih slika brzo prikazuju jedna za drugom. Broj frejmova zavisi od izlaznog medija.

Ako se radi o video prikazu animacije, broj frejmova zavisi od sistema emitovanja video signala. Tako za NTSC video signal imamo 30 frejmova po sekundi, a za PAL 25. Animacija za film ima 24 frejma po sekundi (fps). Broj frejmova po sekundi u zavisnosti od sistema emitovanja prikazan je u tabeli 2.1.

Sistem emitovanja	Broj frejmova po sekundi (fps)
video NTSC	30
video PAL	25
film	24

TABELA 2.1. Broj frejmova animacije po sekundi

Kompjuterska animacija također može biti montirana sekvenca kadrova. Kadar prikazuje scenu snimljenu jednom kamerom bez prekida. Montaža kadrova daje ritam animiranom filmu.

Tajming akcije

Dinamika kompjuterske animacije se bazira na tajmingu akcija u priči i pokretima animiranih likova. Tajming akcije zavisi od toga kako su pokreti likova i kamere usaglašeni sa pričom [1]. Vješto kreiranje tajminga akcije drži pažnju publike. Postoji više načina da se napravi tajming akcije:

a) *akcija ispred priče*

Lik protagonist akcije reaguje na zvuk. Akcija se dešava prije nego što gledalac zna šta je to. Ovaj tajming proizvodi napetost i iščekivanje kod gledaoca.

b) *akcija iza priče*

Kod ovog tajminga publika zna prije lika šta će se desiti u akciji. Primjer ovog tajminga je kada liku pada nešto na glavu, a on nije ni svjestan toga. Ovaj tajming je dobar za postizanje komičnih efekata.

c) *prekinuta akcija*

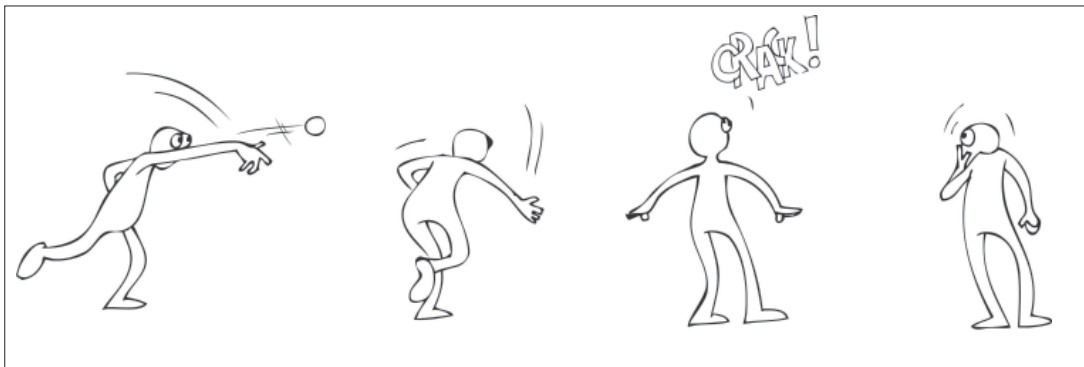
Ovaj tajming se može koristiti da omogući publici trenutak da stane u korak sa akcijom

d) *paralelna akcija*

Akcije se dešavaju u isto vrijeme, ali na raznim mjestima.

e) *slijed akcije*

Daje publici priliku da razmisli i uživa u priči. Reakcija lika nakon akcije pokazuje gledaocima njegova osjećanja (slika 2.1.6).



SLIKA 2.1.6. Slijed akcije

2.1.3. Vizualna gramatika pokreta

Pokreti lika pomažu da se ispriča priča i da definišu ličnost i emocije lika. U slučaju animacija koje čine apstraktni likovi, njihovi pokreti i tajming akcije su elementi priče u nedostatku facijalnih izraza i pokreta tijela. Pokret je također odličan način da se usmjeri pažnja gledalaca na specifično mjesto u slici. Zato treba voditi računa da je pokret **čitljiv** za gledaoca i da ga ne zbunjuje [1].

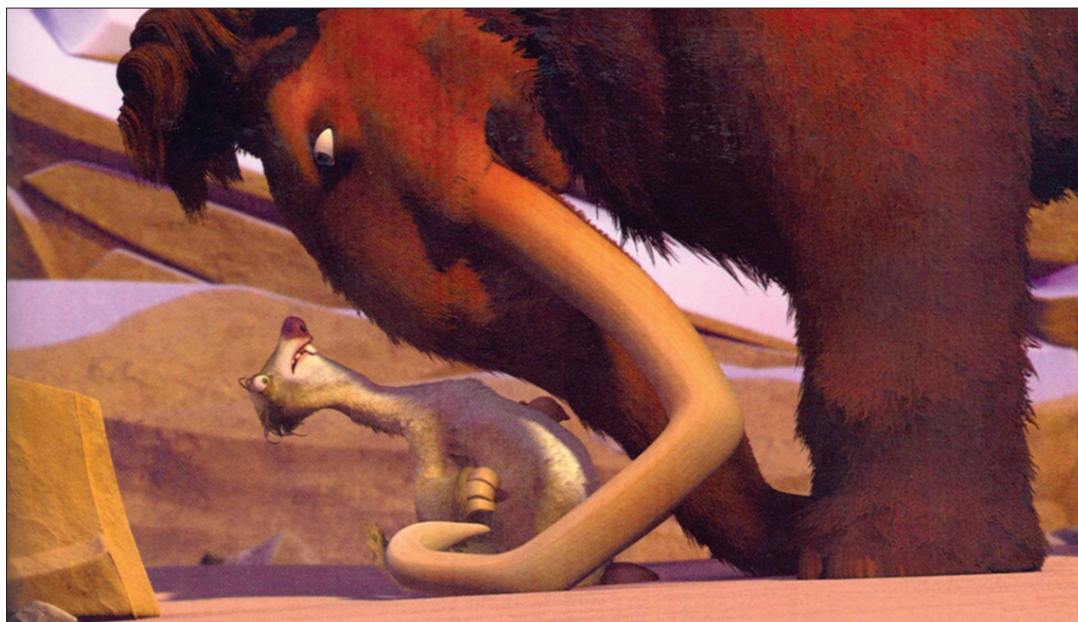
Različite kombinacije tajminga, brzine, ritma i koreografije rezultiraju u različitim tipovima pokreta, uljučujući primarni i sekundarni pokret, preklapajuće pokrete i stanke u pokretu. Ovi tipovi pokreta se mogu primijeniti i na kameru, koja ima važnu ulogu u kompjuterskoj animaciji.

Praviti koreografiju pokreta znači aranžirati pokret svih objekata ili njihovih dijelova u sekvencu akcija. Taj proces počinje planiranjem akcije i njenim dijeljenjem u blokove. **Jednostavni pokret** se može sastojati od samo jednog objekta ili njegovog dijela koji se pomjera u jednom pravcu, dok **kompleksni pokret** može da se sastoji od nekoliko objekata ili njihovih dijelova koji se kreću u raznim pravcima, raznim brzinama i u raznim ritmovima.

Kompleksni pokret se sastoji od primarnih ili dominantnih pokreta i sekundarnih pokreta. **Primarni pokret** u kadru je pokret koji privlači pažnju gledaoca. To je onaj pokret koji vuče akciju naprijed. To je npr. pokret dvije osobe u baru koje se nekontrolisano smiju, dok ostali posmatraju. **Sekundarni pokret** u kadru je pokret koji komplementira primarni pokret. Npr. pucketanje prstima plesača dok pleše. Sekundarni pokret često počinje kao reakcija na primarni pokret i tokom vremena postaje novi primarni pokret.

Pokreti su veoma rijetko nezavisni jedni od drugih. Oni se često preklapaju. **Preklapajući pokret** nastaje kada jedan pokret počne prije nego što se drugi završi. Svijet oko nas je pun pokreta koji se preklapaju.

Stanka u pokretu se događa kada lik prekine ili završi jedan pokret i pauzira. Funkcija stanke u pokretu daje publici mogućnost da uhvati korak sa radnjom. Najefektniji način za kreiranje stanke u pokretu je prekidanje primarnog pokreta dok se mali pokret nastavlja (slika 2.1.7). Stanka u pokretu nikad ne treba da zaustavi sve pokrete na sceni.



SLIKA 2.1.7. Stanka u pokretu

2.1.4. Tehnike kontrole pokreta

Najjednostavniji način za kontrolu pokreta je ručno pomjeranje objekata u sceni. Pored ovoga, postoje i tehnike kinematike bazirane na promjeni pozicije i orijentacije modela u 3D prostoru, kao što su **forward i inverzna kinematika**.

U forward kinematici vrši se manipulacija zglobovima da bi se postigao specifični pokret, dok se kod inverzne kinematike udovi ili objekti pomjeraju, a softver računa rotaciju zglobova. Inverzna kinematika je posebno dobra za kompleksne modele.

Motion capture tehnike prosljeđuju informaciju o kinematici softveru snimanjem pozicija ili uglova zglobova realnog glumca ili objekta koji se kreće. **Motion dynamics** tehnike generišu realistični pokret objekata na bazi njihovih fizičkih karakteristika. One primjenjuju sile na zglobove objekta i simuliraju kretanje iz fizičkog svijeta. One uzimaju u obzir karakteristike kao što su težina objekta, inercija, fleksibilnost i kolizija sa drugim objektima, kao i trenje okruženja, gravitaciju i druge sile koje mogu uticati na kretanje objekta.

Proceduralni ili pokret na bazi pravila animira objekte na bazi skupa procedure ili pravila. Jedan od primjera ovakvog pokreta je animacija leta jata ptica.

2.1.5. Osnovni principi kompjuterske animacije

U ranim 1930-tim u Walt Disney Studios kreirano je 12 principa animacije, koji i danas predstavljaju temelj rukom crtane animacije. Ti principi se uglavnom odnose na glumu predstave (act), režiju predstave (dir), predstavljanje stvarnosti (dra), interpretaciju fizike realnog svijeta (phy) i montažu sekvence akcija (mon) [1].

Pojavom kompjuterske animacije prošireni su sa nekim dodatnim principima.

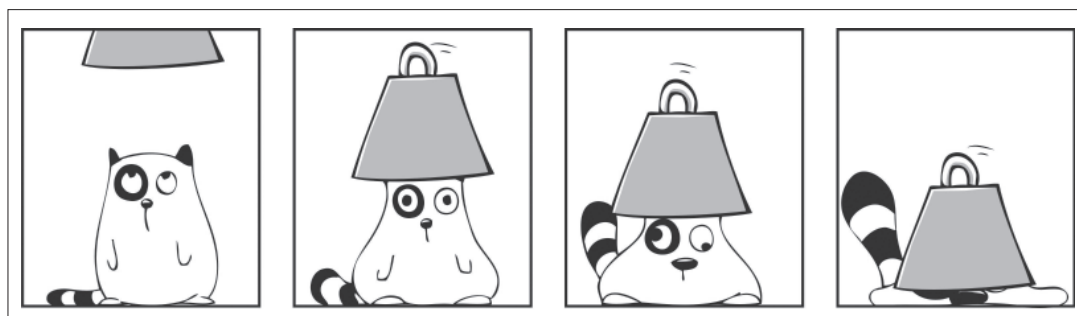
Pregled svih principa animacije i njihov odnos prema spomenutim elementima radnje dat je u sljedećoj tabeli.

Prošireni skup osnovnih principa animacije					
	act	dir	dra	phy	mon
1. Squash and stretch	✓	✓	✓	✓	
2. Anticipation	✓	✓			
3. Staging	✓	✓	✓	✓	
4. Straight ahead and pose to pose action	✓	✓		✓	
5. Follow through and overlapping action	✓			✓	
6. Slow in and slow out				✓	✓
7. Arcs	✓		✓	✓	
8. Secondary action	✓			✓	
9. Timing	✓	✓			✓
10. Exaggeration	✓	✓			
11. Solid modeling and rigging			✓	✓	
12. Character's personality	✓	✓	✓	✓	✓
13. Visual styling			✓	✓	✓
14. Blending cartoon with real motion	✓	✓	✓	✓	✓
15. Cinematography		✓	✓		✓
16. Facial animation	✓	✓	✓		
17. User-controlled animation	✓	✓	✓	✓	✓

TABELA 2.1.1. Prošireni skup principa animacije [1]

1) Squash and stretch

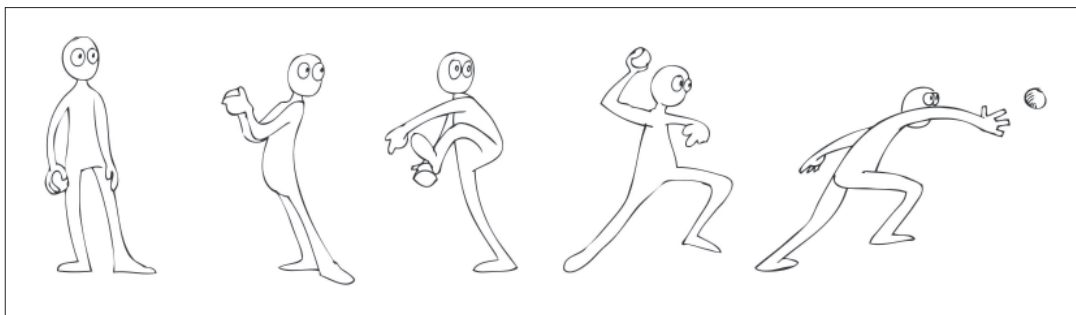
Preuveličavanje količine deformacija tijela lika obično sa ciljem postizanja komičnog efekta.



SLIKA 2.1.8. Squash and stretch

2) Anticipation

Usmjerava pogled gledaoca na akciju koja treba da se desi. Uključuje stanke u pokretu, odlična za kreiranje iznenađenja.



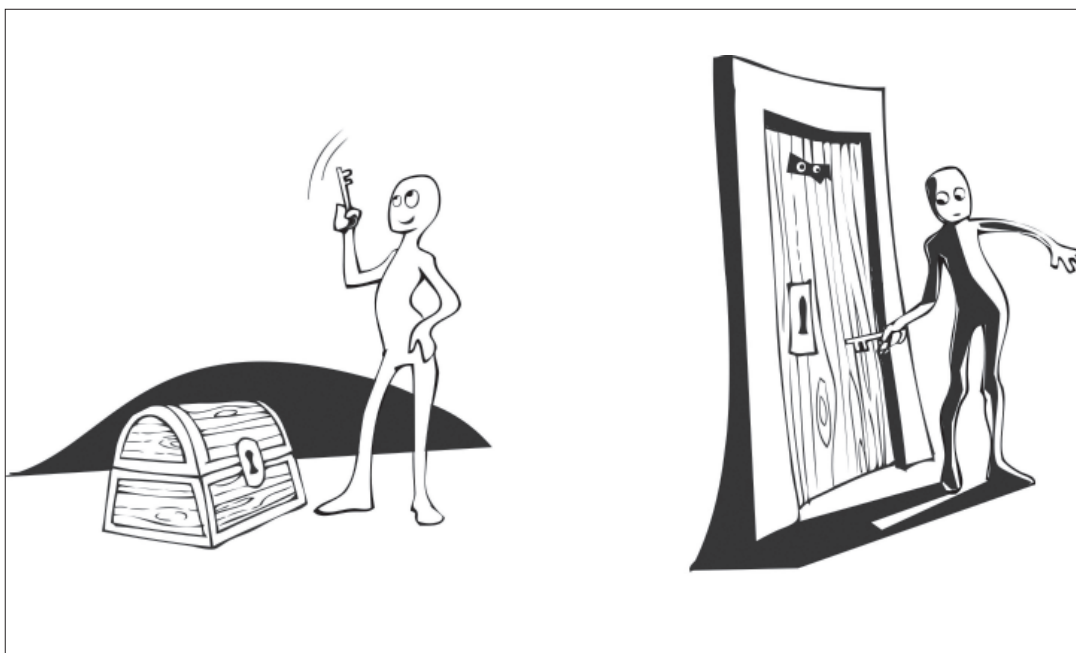
SLIKA 2.1.9. Anticipacija

3) Staging

Prenošenje raspoloženja i namjere scene u određene pozicije i akcije lika.

Staging tehnike:

- sakrivanje ili otkrivanje centra pažnje
- lančana reakcija akcija-reakcija
- slow motion, frozen time, petlje pokreta, pokreti kamere iz ruke



SLIKA 2.1.10. Staging

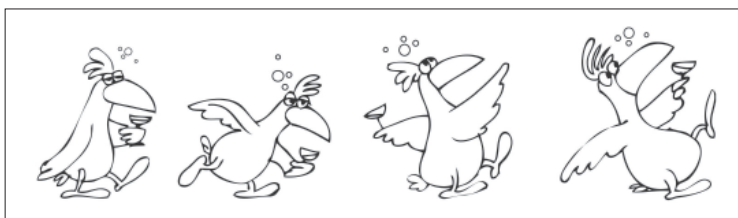


SLIKA 2.1.11.
Pose-to-pose akcija

4) Straight ahead and pose to pose action

Pose-to-pose akcija razbija strukturirani pokret u seriju jasno definisanih ključnih poza.

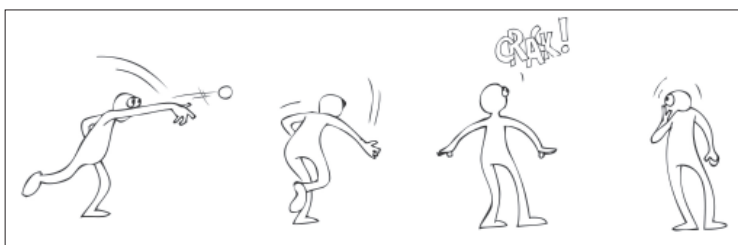
Kod straight-ahead akcije lik se kreće spontano kroz akciju do kraja.



SLIKA 2.1.12. Straight-ahead akcija

5) Follow-through and overlapping akcija

Follow-through akcije se sastoji od reakcija lika poslije akcije i obično objašnjava gledaocu kako se lik osjeća u vezi sa onim što se dogodilo.

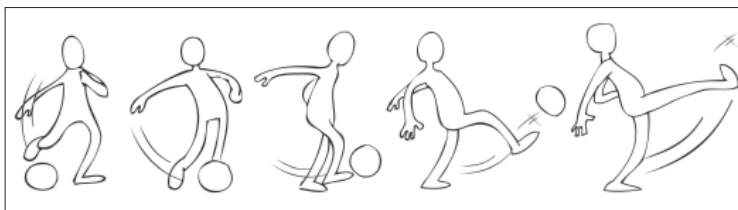


SLIKA 2.1.13. Follow-through akcija

Kod preklapajuće akcije imamo uticaj višestrukih pokreta, stapanje i preklapanje pozicija lika.

6) Slow in and slow out

Usporavanje početka i kraja akcije, a ubrzavanje sredine. Može se napraviti i inverzna varijacija – fast-in, fast-out što je veoma često kod vizualnih efekata.



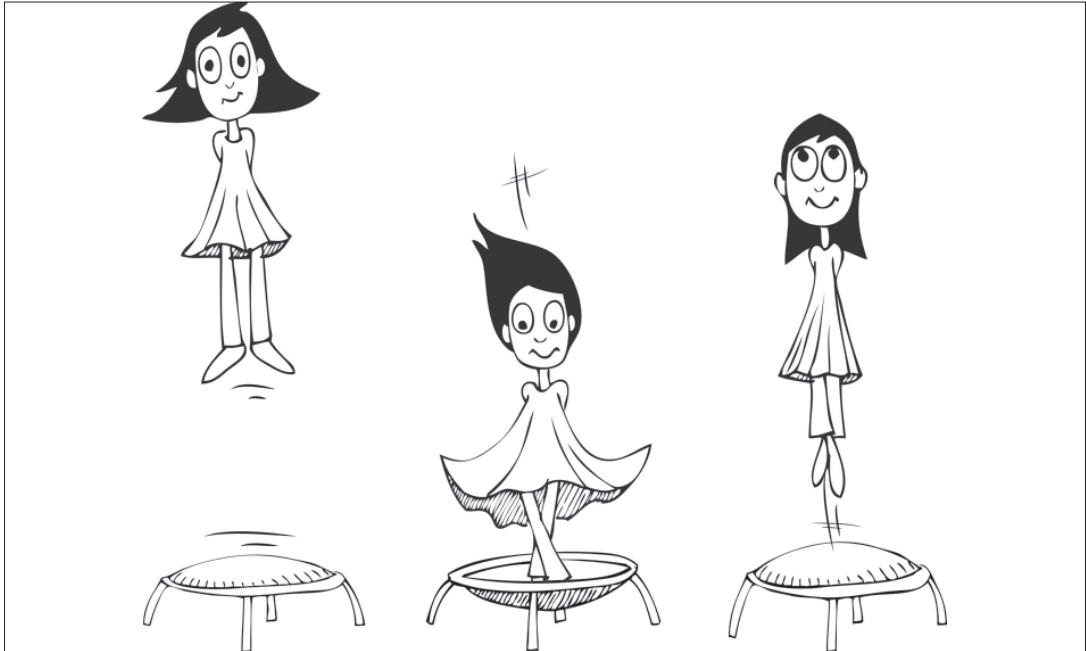
SLIKA 2.1.14. Slow in and slow out

7) Arcs

Korištenje lukova za animaciju pokreta likova. Ovakvo kretanje je mnogo prirodnije jer se živa stvorenja kreću u lukovima, a ne linearno.

8) Sekundarna akcija

Sekundarna akcija se sastoji od malih pokreta kao komplementa dominantnoj akciji. To su npr. pokreti slojeva kose, krzna, šešira, kape.



SLIKA 2.1.15. Sekundarna akcija

9) Tajming

U kompjuterskoj animaciji veoma je bitno tajmiranje preciznog trenutka i trajanja akcije.

Tajmiranje dodaje emocije i namjeru izvedbi lika.

10) Pretjerivanje

Pomaže animiranim likovima da odigraju suštinu akcije.



SLIKA 2.1.16. Tajming



SLIKA 2.1.17. Pretjerivanje

11) Modeliranje i rigovanje

Jasno ocrtavanje oblika je nepohodno za oživljavanje likova. Ono je neophodno da bi gledalac mogao steći utisak o težini, dubini i balansu lika.

12) Karakter lika

Omogućava emocionalnu vezu između lika i publike. Likovi moraju biti dobro razvijeni, imati zanimljiv karakter i jasne potrebe koje pokreću njihove akcije i definišu njihovo ponašanje. Npr. treba razviti način kretanja lika u skladu sa njegovim karakterom.

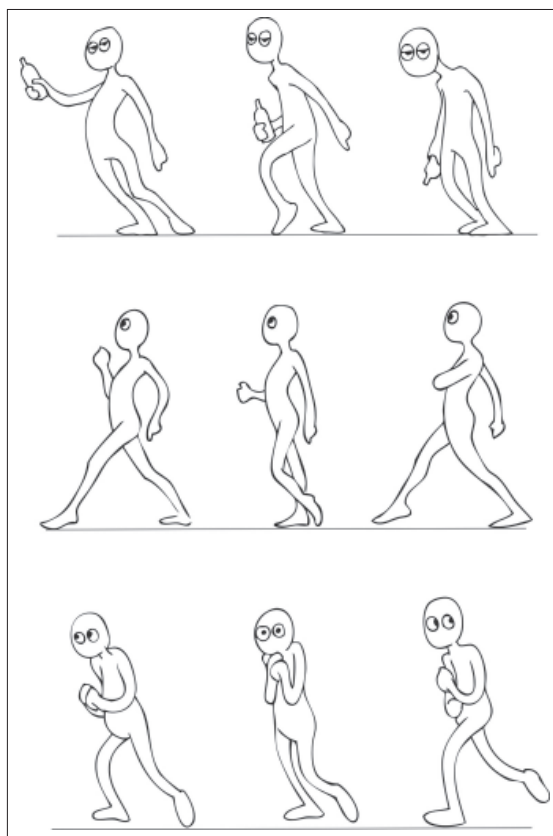
Pored spomenutih klasičnih 12 principa animacije, sa razvojem kompjuterske 3D animacije definisano je i nekoliko novih principa:

13) Vizualni styling

Vizualni styling je više od samog izgleda kompjuterske animacije. On ima uticaj na animiranje, rendering i kompleksnost produkcije.

14) Stapanje pokreta

Stapanje animiranog i realnog pokreta. Glumci kreiraju pokret koji se bilježi metodom motion capturinga.



SLIKA 2.1.18. Karakter lika

15) Kinematografija

Kompozicija kadra, svjetlo i montaža imaju ogroman uticaj na storytelling kompjuterske animacije.

16) Facijalna animacija

Mogućnost za bolje izražavanje misli i emocija lika.

17) Korisnički kontrolisana animacija

Karakteristična za kompjuterske igre. Ovo je veliki izazov za animatore. Treba pronaći balans između priče i improvizacijskog aspekta igre. Kreiraju se snažni ciklusi animacije sa ugrađenom anticipacijom [1].

2.1.6. Pripremne faze kompjuterske animacije

Faza planiranja je ključ uspjeha projekta kompjuterske animacije. Planira se priča, generalni vizuelni izgled, karakteri i ambicije likova, stil animacije. Definiše se budžet, rokovi, tim animatora.

Priča je najčešći i najsnažniji alat da se predstavi i realni i imaginarni svijet. Rad animatora je vizualna interpretacija priče i njenih likova.

Scenario

Scenario je pisani dokument koji priča priču pomoću opisa, dijaloga i nekih produkcijskih napomena. Svi scenariji imaju jasno definisan tretman teme definisan tačkom gledišta koju autor želi da prenese publici. Prilikom kreiranja scenarija potrebno je razmotriti ciljnu publiku projekta.

Scenario definiše:

- o čemu se radi u priči
- ko su likovi
- šta se događa sa njima

Struktura priče drži sve dijelove na okupu. Priče koje se pričaju pomoću linearnog medija (film), sastoje se od početka, sredine i kraja. Početak priče (ekspozicija ili setup) uvodi glavne likove, uspostavlja dramatsku premisu i postavlja temelj za događaje i situacije koji će se razviti u priči. Sredina priče je konfrontacija, zaplet, kulminacija. To su trenuci kada se glavni likovi sukobljavaju. Kraj priče je rezultat dramatične sekvence događaja.

U strukturi priče moguće su i varijacije kao što je npr. retrospektiva.

Storyboard

Storyboard je vizualna interpretacija scenarija. **Konceptualni storyboard** se koristi da razvije osnovne ideje kao što su akcije likova, pozicije kamere, tajming pokreta, prelazi između scena. On je obično neformalan, u obliku skica. **Prezentacijski storyboard** se koristi da pokaže detaljni vizualni sažetak projekta klijentima ili supervizorima. Važne scene su detaljno prezentirane.

Produkcioni storyboard je vodič produkcije animiranog filma (slika 2.1.19). On je vrlo detaljan i precizan. U njemu se nalaze brojevi scena i kadrova i njihova trajanja.

Razvoj lika

Likovi mogu biti cartoon likovi, stilizirani likovi ili realistični likovi. Character sheets su crteži koji se koriste da definišu glavne emocije i ponašanje likova u formi pozicija tijela i izraza lica. Razvoj lika podrazumijeva crtanje i modeliranje. Može se podijeliti u sljedeće faze:

- a) Vanjski izgled – definiše se vizualni izgled lika. On je određen tehnikom produkcije i alatima za modeliranje.
- b) Silueta - pomaže definisanju karaktera
- c) Interna struktura - definiše kako se lik kreće. To su skelet i zglobovi.
- d) Izrazi lica - otkrivaju karakter lika i prenose emocije
- e) Poze tijela
- f) Tajming i ritam - koliko vremena treba liku da reaguje
- g) Gluma, izražavanje emocija, proces razmišljanja - doprinosi da se publika udubi i identificira sa likom



SLIKA 2.1.19. Produkcioni storyboard iz filma "Monsters"

2.2. Tehnike kompjuterske animacije

U ovom poglavlju ćemo obraditi osnovne principe keyframe interpolacije, kao i osnovne tehnike 3D kompjuterske animacije, kao što su prostorna animacija modela, animacija oblika sa lattice deformacijom ili morphingom, interpolacija atributa, animacija kamere i animacija svjetla.

2.2.1. Principi keyframe interpolacije

Keyframe interpolacija je kreiranje sekvence statičnih slika definisane ključnim frejmovima [1]. Prvo se definišu ključni frejmovi animacije u kojima dolazi do početka, kraja ili promjene pokreta, a onda softver računa međufrejmove usrednjavanjem informacija i ključnih poza u ključnim frejmovima.

Najčešće je u pitanju linearna interpolacija, ali može biti i interpolacija u obliku krive (slika 2.2.1). Keyframe je definisan sa svojim vremenom i svim parametrima i atributima objekta koji se animira.

Interpolacije su predstavljene sljedećim grafom:

Linearna interpolacija usrednjava parametre u ključnim frejmovima i proizvodi jednako razmknute međufrejmove. Bazirana je na konstantnoj brzini (slika 2.2.2).

Interpolacija u obliku krive usrednjava parametre u ključnim frejmovima uzimajući u obzir ubrzanje. Ovdje se može definisati ease in, ease out, kao usporenje na početku i kraju segmenta koji se animira. Grafička reprezentacija je u obliku parameterske krive (Bezierove, B_Spline ili kardinalne) (slika 2.2.3). Ova interpolacija se koristi za fino podešavanje animacije.

2.2.2. Animacija modela

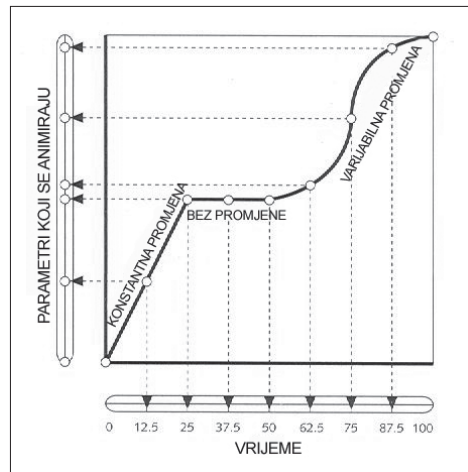
Jedna od osnovnih tehnika za animaciju 3D modela je **interaktivna specifikacija ključnih frejmova**. Ona uključuje interaktivnu specifikaciju ključnih poza, te pomjeranje objekata ili editovanje parametarskih krivih.

Forward kinematika je određivanje kretanja i finalne pozicije modela specificiranjem uglova njegovih zglobova. Ona podrazumijeva mnogo manualnog rada. Kretanje objekta se definiše u formi koordinata njegovih zglobova.

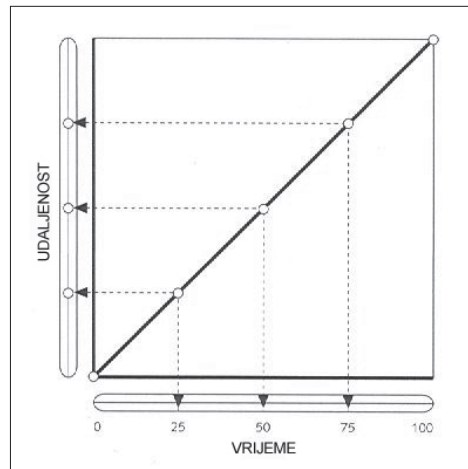
Objekat se može animirati i pomoću **putanja kretanja**. Putanja se crta u 3D okruženju u formi krive. Potom se putem odgovarajuće naredbe dodijeli objektu koji se animira. Ova tehnika je korisna za animiranje kamere, jedrilica, skijaša itd. Može se koristiti za definisanje osnovnog pokreta, a ostatak kretanja se može kasnije dodati.

Animacija pomoću putanje se sastoji od sljedećih koraka:

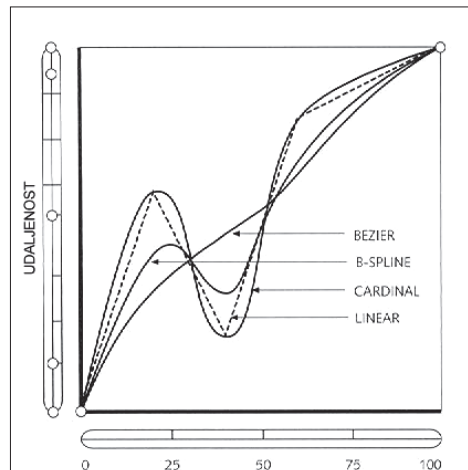
- Crtanje krive u 3D prostoru
- Selektovanje modela i linkovanje za putanju
- Definisanje parametara tajminga putanje



SLIKA 2.2.1. Graf interpolacija



SLIKA 2.2.2. Linearna interpolacija



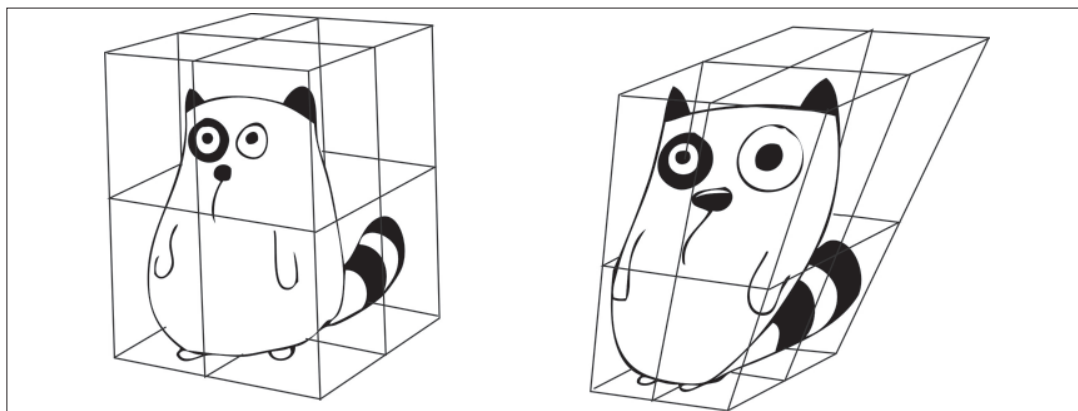
SLIKA 2.2.3. Interpolacija u obliku krive

Slobodna animacija oblika je interpolacija oblika dva objekta na bazi tačka u tačku. Ona koristi dvije verzije istog modela. Prvo se vrši identifikiranje kontrolnih vrhova modela koji će biti animirani. Veoma je korisna u squash and stretch animacijama. Poseban oblik ove tehnike je 3D morphing (slika 2.2.4), gdje imamo dva različita modela koji se transformišu jedan u drugi. Vršiti se animiranje svih tačaka jednog objekta u pozicije okupirane tačkama drugog objekta. Najbolji rezultati se postižu kada oba objekta imaju isti broj tačaka. Neophodno je odrediti poredak korespondencije između tačaka.



SLIKA 2.2.4. 3D morphing u filmu "The Mask"

Free-form lattice su eksterne kontrolne strukture koje reguliraju animaciju oblika (slika 2.2.5). One predstavljaju 3D mrežu tačaka i linija koja kontroliše vrhove 3D modela. Veoma je bitna rezolucija lattice strukture.



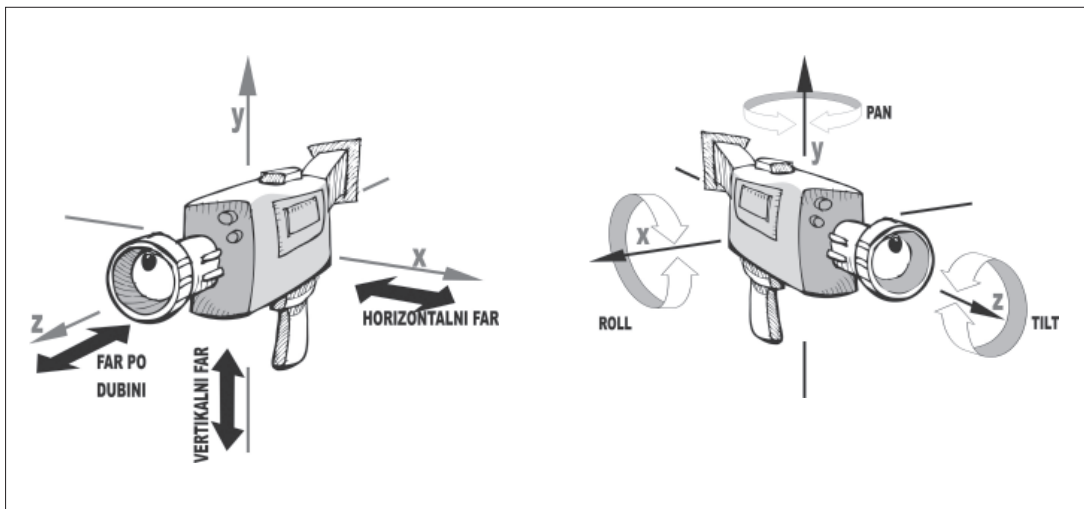
SLIKA 2.2.5. Free-form lattice

Wave funkcije su veoma pogodne animiranje sekundarnog pokreta. To su 2D funkcijske krive koje se koriste kao kontrolne strukture za animaciju oblika objekata. One mogu da budu:

- Kružni talasi – animacija površine jezera
- Planarni talasi – animacija površine mora
- Sferični talasi – animacija eksplozija

Animacija karakteristika površine je sljedeća tehnika kompjuterske animacije. Tajming transformacije površine je krucijalan za razumijevanje akcije. Ove tehnike mogu rezultirati potpuno prirodnom transformacijom, kao npr. crvenjenje jabuke, koja dugo traje ili fantastičnom transformacijom. Animacija karakteristika površine vrši se interpolacijom njenih parametara. Kreiranje spektakularnih efekata može se postići mapiranjem sekvence slika kao teksture.

Animacija kamere je neophodna za kreiranje ritma u sceni. Pokreti virtualnih kamere se baziraju na pokretima kamere u tradicionalnoj kinematografiji. Svi pozitivni pokreti su izraženi u obliku translacija i rotacija oko jedne ili više osa kamere (slika 2.2.6.). Također se radi i animacija fokalne dužine i dubine polja kamere.



SLIKA 2.2.6. Animacija kamere

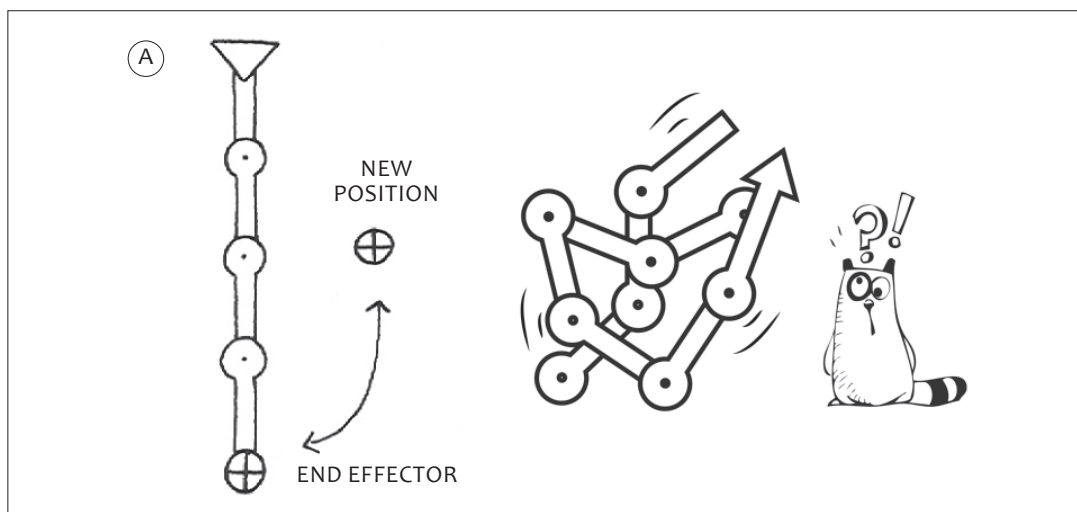
Animacija svjetla vrši se animiranjem pozicije i atributa izvora svjetla. Ovom animacijom mogu se kreirati nebeska tijela. Kada je u pitanju Sunce ili mjesec, pomjeranje svjetla se primjećuje kroz pomjeranje sjena. Tu se koriste infinite svjetla ili point svjetla sa srednjim do visokim intenzitetom i bez fall-off-a. Nijansa boje svjetla je tint na toplu ili hladnu boju. U sceni se vrlo često pojavljuju i praktična svjetla (practical lights), kao što su baterije, baklje, šibice, svici. Vještačka svjetla su definisana kao point ili spot svjetla i koriste se za iluminaciju pojedinih dijelova scene.

2.3. Napredne tehnike kompjuterske animacije

Napredne tehnike kompjuterske animacije podrazumijevaju tehnike različite od keyframe pristupa. Ove tehnike se koriste da simuliraju kompleksni ili realistični pokret. One počinju sa snimanjem pokreta realnih glumaca. Postoje i hibridne tehnike koje su kombinacija nekoliko tehnika animacije.

2.3.1. Inverzna kinematika

U ovoj tehnici animacije pokret cijelog skeleta baziran na finalnim pozicijama nekih ključnih tačaka. Inverzna kinematika (IK) zahtijeva modele koji su napravljeni kao hijerarhijske strukture. Ona pojednostavljuje animaciju kompleksnog pokreta. Model je definisan kao uredjeni lanac, gdje postoji korijen lanca, kao prva tačka u prvom segmentu uredjenog lanca i roditelj svih segmenata i zglobova u lancu, zatim effector (end effector) koji predstavlja zglob koji definiše poziciju lanca koji se pokreće pomoću inverzne kinematike. Treća vrsta elementa lanca je zglob, kao tačka gdje se susreću dva segmenta lanca (slika 2.3.1.) [1].



SLIKA 2.3.1. Lanac u inverznoj kinematici

U lancima inverzne kinematike definišu se određena ograničenja na pokret. Npr, glava lika se ne može okrenuti za 360 stepeni.

2.3.2. Performance animation i motion capture

Motion capture je tehnika u kojoj se snimaju pokreti živih glumaca i prenose na 3D model. Može se koristiti za kreiranje osnovnog pokreta ili sekundarnog pokreta lika. Podaci o pokretu se snimaju i spašavaju kao XYZ pozicije zglobova. Snimljeni sirovi pokret se čisti od šuma (noise). Ova tehnika je prvi put uvedena u 1980-tim godinama. Proces motion capturinga se sastoji od pripreme realnih

i virtualnih glumaca, postavljanja capture tačaka na realne glumce i kreiranja hijerarhijske strukture koja će kontrolisati virtualnog glumca. Broj senzora pokreta za cijelo tijelo je oko 70 ili manje, zavisno od sistema koji se koristi (slika 2.3.2.).

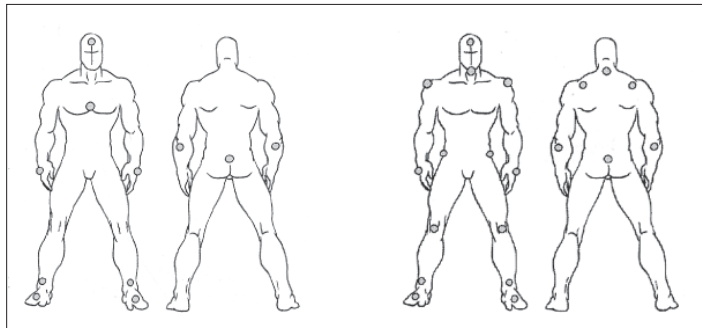
Postoji nekoliko tehnologija za motion capture koje se razlikuju po preciznosti podataka, sampling rate-u, slobodi pokreta i broju senzora.

Prosthetic motion capture je baziran na potencio-
metrima (uređaji za mjerenje elektromagnetske sile na bazi količine energije koja prođe kroz njih kao rezultat pokreta zgloba). On je prilično nezgrapan i ograničava tip pokreta za izvođača, pa se uglavnom koristi u medicinskim aplikacijama.

Akustični motion capture je baziran na transponderima koji određuju svoju poziciju u prostoru slanjem radio signala sa svake tačke sampliranja.

Magnetski motion capture je baziran na prijemnicima koji detektuju magnetska polja. Scena za akustični i magnetski motion capture ne smije kreirati šum.

Optički motion capture (slika 2.3.3.) koristi svjetla, kamere i reflektivne tačke za određivanje pozicija zglobova u 3D prostoru. Glumci su slobodni da izvode bilo kakav pokret, a može se snimati i više glumaca u isto vrijeme. Problem kod ove tehnike je što neke tačke sampliranja mogu biti sakrivene pokretom glumaca. Rješenje je povećanje broja kamera u sistemu.



SLIKA 2.3.2. Sistemi za motion capture sa 11 i 20 motion senzora



SLIKA 2.3.3. Optički motion capture

2.3.3. Rotoscoping

Rotoscoping se može smatrati i kao vremenski odloženi motion capture. Razvijen je već u prvim danima cel animacije za kombiniranje 2D ručno crtanih animiranih likova sa živim pozadinama. Ova tehnika se koristi za skidanje pokreta koji potiče iz realnosti pomoću tracinga, ručnog ili automatskog, statičnih frejmova scene snimljene kamerom. Šematska informacija koja je rezultat ovoj tracinaga se dalje koristi da kao vodič za postavljanje i pokret 3D animiranih likova. Danas se rotoscoping koristi i za kombiniranje 2D crtanih likova sa 3D pozadinama i scenografijom.

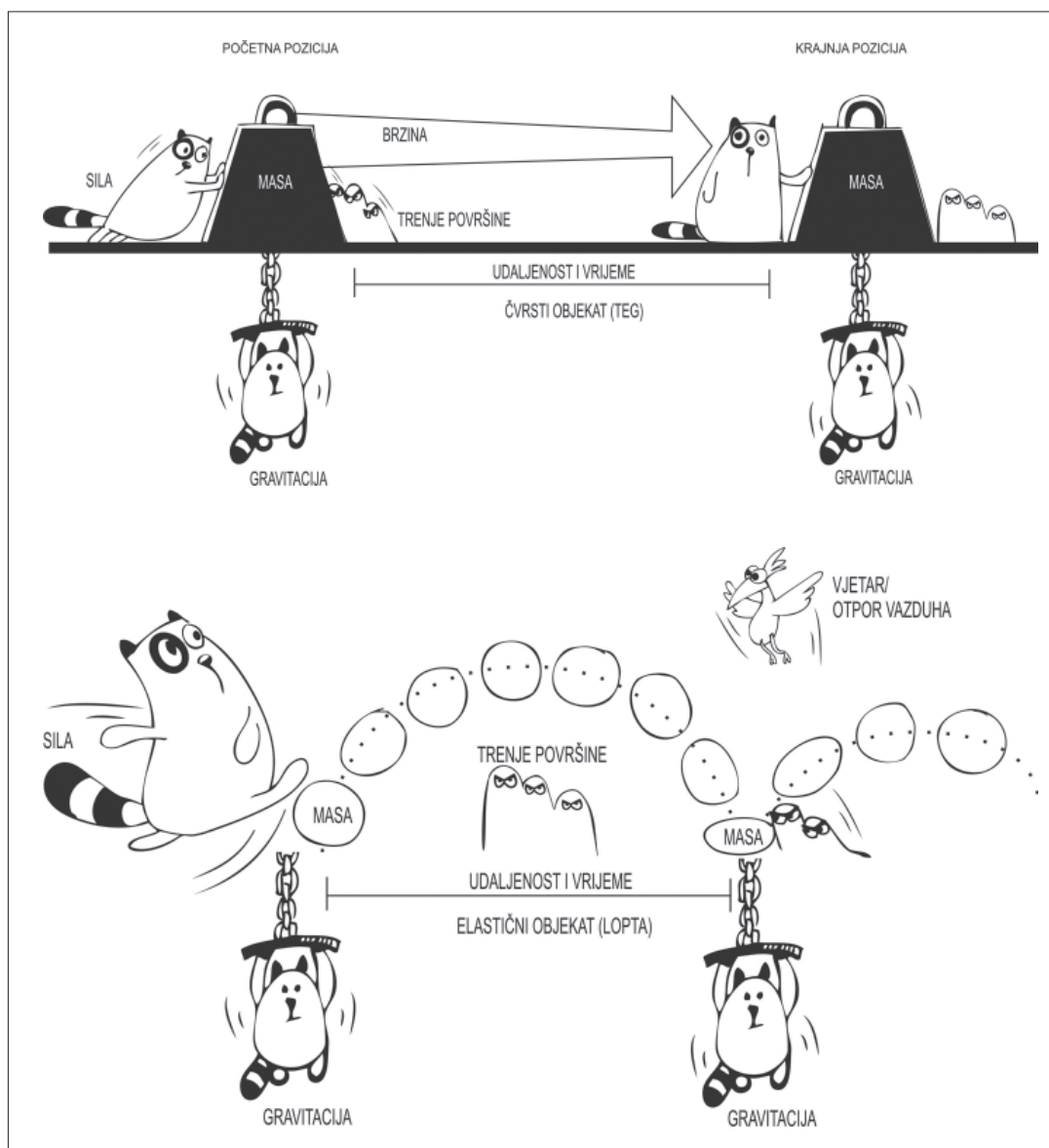
2.3.4. Live motion control

U nekim primjenama vezanim za zabavnu industriju, pokret realnih likova je snimljen i primijenjen na animirane likove u realnom vremenu. Vršiti se snimanje teatarskog pokreta glumaca

koji se prenosi na crtane likove. Ovdje se koriste specifični ulazni uređaji koji prenose pokrete tijela i izraze lica glumaca na likove u animaciji.

2.3.5. Dinamika pokreta

Ova tehnika animacije generiše realističan pokret objekata simuliranjem njihovih fizičkih osobina i prirodnih zakona pokreta. Dinamička simulacija računa pokrete objekata na bazi njihovih fizičkih osobina (mase) i informacija o silama koje su primijenjene na objekte.



SLIKA 2.3.4. Sile koje utiču na dinamičku simulaciju

Kod dinamičke simulacije se koriste osnovni zakoni fizike kao što su

masa = gustina x zapremina

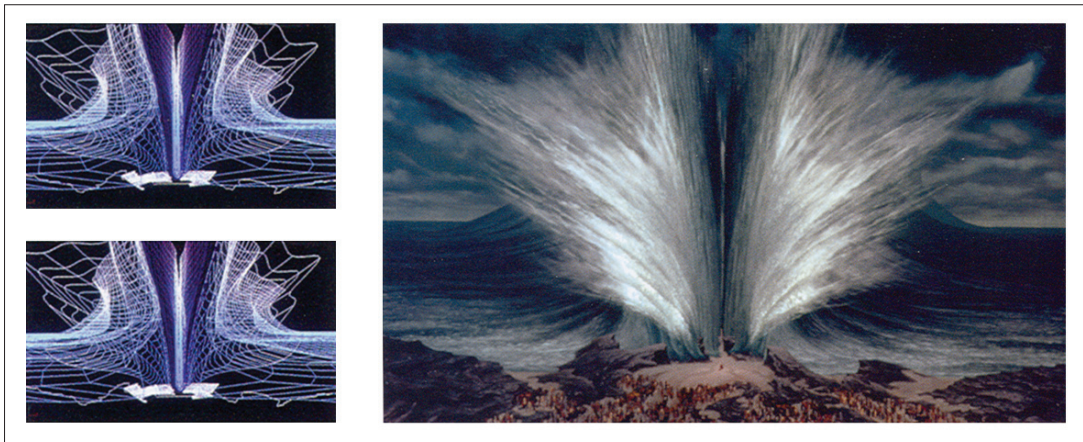
zatim sile koje imaju snagu, intenzitet i pravac i jednakost

sila = masa x ubrzanje

Definišu se fizičke karakteristike objekata, kao što je masa, gustina, elastičnost i krutost. Mogućnost elastičnih objekata da deformišu svoj oblik u skladu sa kolizijom se kontroliše pomoću flexible lattice. Simulacija krutosti se definiše pomoću opruga između vrhova objekta. Moguće je napraviti i simulaciju lomljenja.

Tipovi sila u dinamičkim simulacijama su linearne sile, koje su unidirekionalne (vjetar, gravitacija, udaranje, bacanje), tačkaste (radijalne) sile koje putuju kao zrake u svim pravcima (eksplozija bombe) i konične sile definisane kao skup linearnih sila koje se šire iz jedne tačke (fen).

Osnovne sile se mogu kombinirati u složene sile. Može se definisati simulacija oluja. Sile možemo podijeliti i na lokalne sile, koje utiču na samo jedan objekat ili zglob, globalne sile, koje utiču na sve objekte u 3D okruženju i odbijajuće sile koje guraju objekte od izvora (vjetar). Zatim imamo privlačne sile koje privlače objekte (magnet) i otporne sile koje prave otpor kretanju objekata (trenje).



SLIKA 2.3.5. Dinamička simulacija

2.3.5. Kolizija i detekcija kolizije

Za svaku realističnu simulaciju potrebno je definisati koliziju između objekata. Najjednostavniji pristup koliziji je taj gdje kolizione sile djeluju u pravcu centra objekta i masa je distribuirana ravnomjerno po objektu. Ovdje je potrebno određivanje pozicije centra mase i računanje distribucije mase. Kada se sile primijene na dijelove objekata koji nisu centar gravitacije, one će prouzrokovati kretanje koje nije linearno. Ove sile se nazivaju **torzija**. One proizvode kretanje sa torzijom i rotacionom brzinom.

Detekcija kolizije je jedna od najinteresantnijih i najkorisnijih tehnika dinamičke animacije. Veoma je kompleksna za procesiranje. Postoji vizualna detekcija kolizije gdje se objekti detektuju ručno putem preview-a i automatska detekcija kolizije pomoću graničnih zapremina.

Automatska detekcija kolizije provjerava da li se granične zapremine presijecaju, a drugi korak je provjera da li se objekti presijecaju. Treći korak je provjera ivica i poligona objekata. Brute force pristup je testiranje svih objekata sa svim, a jednostavniji pristup je identificiranje prepreka za objekte koji se kreću po putu kolizije.

2.3.6. Proceduralna animacija

Proceduralna animacija je animiranje elemenata scene na bazi skupa pravila ili procedura koje kontrolišu pokret.

Sistemi čestica (particle systems)

Vrši se rekreiranje kretanja čestica koje slijede neko generalno definisano kretanje. Čestice predstavljaju dinamičke objekte koji imaju neregularan i kompleksan oblik, svaki sa svojim ponašanjem. Definiše se životni ciklus čestica. Primjeri sistema čestica su snijeg, voda, jato ptica, rast itd.

U animaciji jata pravila kontrolišu sve varijable koje su uključene u ponašanje jata. Može se simulirati pomoću particle sistema. Razlika je u tome što su u animaciji jata čestice zamijenjene sa 3D modelima koji imaju orijentaciju i kompleksnije kretanje. Ponašanje jata se definiše u skladu sa internim uslovima (za svaku pticu) i eksternim uslovima (izbjegavanje prepreka). Uvodi se source i destination mesh [1].

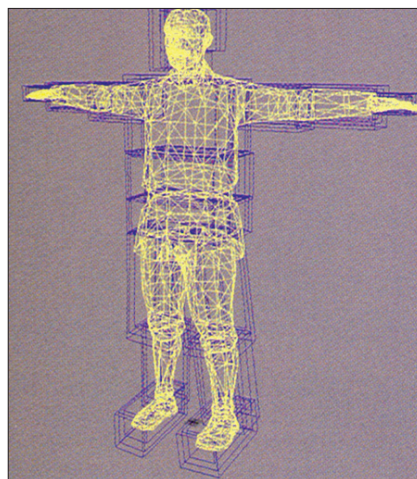
Animacija orijentisana prema cilju

Ova animacija se još zove intention-based ili automated. Potiče iz robotike i ekspertnih sistema. To je kodirana procedura koja se sastoji od:

- analiziranja cilja
- razbijanja u zadatke
- procjene okruženja
- rada sa preprekama
- oporavka od grešeka
- razvoja novih strategija na bazi iskustava
- postizanja cilja

MIDI animacija

Korištenje muzike kao izvora pokreta je još jedan efektivan metod za kreiranje proceduralne animacije. Musical Instrument Digital Interface (MIDI) protokol sadrži informaciju o tome kako svirati ili interpretirati specifične muzičke note. Ovi podaci se mogu koristiti za proceduralno vođenje animacije, tako što se povezuju sa njenim odgovarajućim parametrima.

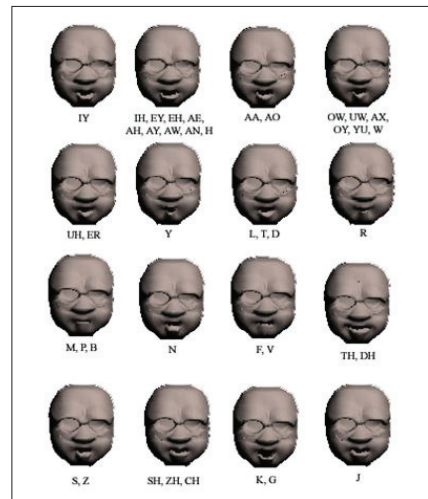


SLIKA 2.3.6. Detekcija kolizije pomoću graničnih zapremina

2.3.7. Facijalna animacija

Sastoji se od animacije govora i animacije emocija. Veoma važna u facijalnoj animaciji je animacija očiju, kao i sekundarni pokret. Bazirana je na morphing-u između ključnih izraza lica.

Blend shapes tehnike se koriste za kreiranje raznih izraza vujanjem i izvlačenjem vrhova, upotrebom kostiju i upotrebom simulacije mišića. Postoje i face trackeri koji skidaju facijalne izraze sa lica glumaca. Animacija podrazumijeva morphing iz jednog facijalnog oblika u drugi u vremenu.



SLIKA 2.3.7. Neki ključni izrazi kod facijalne animacije

2.3.8. Crowd animacija

Crowd animacija je animacija velike grupe likova ili objekata. Crowds su živi likovi sa svojim karakteristikama. Ova tehnika je usavršena od 1990-tih. U filmu “Prince of Egypt” korištena je animacija pomoću crowd sistema. Definisana su četiri osnovna modela za crowd karaktere i nekoliko kreacija napravljenih morphingom. Grupe animirane ovim sistemom su bile robovi, vojnici i skakavci. Neki kadrovi su sadržali i po nekoliko stotina likova.



SLIKA 2.3.8. Crowd animacija u filmu “Lord of the Rings”

U filmu Phantom Menace scena bitke između druida i Gungan armije kreirana je asembliranjem ciklusa animacija iz biblioteke. Neki ciklusi su kreirani pomoću motion capture, a neki pomoću ručno crtane keyframe animacije. Pojedinačni lik je definisan kao particle i korišten je collision detection sistem.

2.3.9. Location based i interaktivna okruženja

Virtual reality su aplikacije za zabavu bazirane na kompjuterskoj animaciji koja pokušava da simulira realnost. **Motion ride** je kompjuterska animacija na bazi motion simulatora. Motion simulator je pokretna platforma koja ima 10-30 sjedišta. Zabavna vrijednost simulacije se bazira na priči koja se priča, sinhronizaciji pokreta kamere i okruženja sa motion simulatorom i konzistenciji kretanja i okruženja koja su predstavljena.

2.4. Compositing

U televizijskom dizajnu se krajem devedesetih godina pojavila se nova tehnika pod nazivom **compositing**. Dizajn televizijskog programa se preobrazio u animacije sa veoma složenim pokretnim pozadinama na kojima se smjenjuju nivoi slike uslikane kamerom i podvrgnute mnogim kolor korekcijama i digitalnim efektima, sa nivoima slike koji su dobijeni animacijom raznih grafičkih elemenata. Ovaj trend se proširio i na muzičke spotove, reklame i ostale forme televizijskog dizajna.

Digitalni compositing je tehnika koju koriste veliki filmski studiji za kreiranje specijalnih efekata ili integraciju slika uslikanih kamerom sa kompjuterski generisanim objektima i pozadinama.

U nastavku ćemo prezentirati naučnu reprezentaciju compositinga, njegovu implementaciju pomoću računarske grafike, kao i primjere pojedinih faza u nastanku animacija baziranih na compositingu.

Prema Brinkmann-u, **digitalni compositing je digitalno manipulisana kombinacija najmanje dvije izvorne slike sa ciljem dobijanja integralnog rezultata [2].**

Tehnika compositinga se bazira na manipulaciji nivoima slike koji se zovu **layeri**.

Prvi layer u svakoj animaciji se zove pozadina (**background**). Ostali layeri se dodaju na background pomoću compositing operatora ili procesa **keying-a** i u tom procesu se koristi key maska (**matte image**).

Key maska određuje koje oblasti iz gornjeg layer-a će se vidjeti preko background-a ili donjeg layer-a. To je obično jednokanalna grayscale slika. Maska može biti sadržana i u četverokanalnoj slici kao poseban **matte kanal**.

Kada se četvrti kanal dodaje slici, ostali kanali se također modifikuju, da bi uključili neke informacije koje dolaze iz matte kanala. Zapravo, standardna definicija četverokanalne slike pretpostavlja da su crveni, zeleni i plavi kanal već multiplicirani integriranim matte kanalom. Zato se ovakva slika zove **premultiplirana slika** i često je produkt 3D renderinga programa za animaciju.

2.4.1. Multisource operatori

Mnogi multisource operatori podržavaju slike koje sadrže poseban alpha kanal. Pretpostavimo da operacija koju objašnjavamo nije zavisna od toga da li slike sadrže integriran matte kanal. Za one operatore gdje je to primjenljivo, prvo ćemo razmotriti proces koji se odnosi na slike bez integriranog matte kanala, a zatim analizirati ponašanje istog operatora za 4-kanalnu sliku. Kada treba da napravimo razliku između odvojenih kanala slike, korist ćemo sljedeću notaciju.

Za bilo koju sliku A

A_{rgb} = samo RGB kanali

A_a = samo alpha ili matte kanal

A = svi kanali slike (tri ili više)

Na kraju, da bismo mogli neke od ovih opisa izraziti u formi jednakosti, definisćemo "O" da predstavlja izlaznu sliku. Također ćemo povremeno koristiti "M" kada treba da označimo sliku koja se koristi samo kao matte kanal. Takva slika se smatra jednokanalnom grayscale slikom.

Koristeći ovu notaciju, **Add** multisource operator se može jednostavno predstaviti kao

$$O = A + B$$

A i B su dvije izvorne slike, a O je rezultujuća slika. Kako se Add ponaša isto kada se radi o tro ili četverokanalnoj slici, nema potrebe da spominjemo specifične kanale u ovoj jednakosti, jer je očigledno da je zapravo

$$O_{\text{rgb}} = A_{\text{rgb}} + B_{\text{rgb}} \text{ i } O_a = A_a + B_a$$

Sada kada imamo zajednički jezik kojim možemo izraziti neke od ovih koncepata, možemo početi razmatranje neke od moćnijih compositing operatora. Većina njih radi sa više ulaza, uključujući matte ulaze i može se koristiti za kontrolu koji dio slike se kombinira sa drugom slikom [2].

Over

Over operator uzima dvije slike i pomoću treće slike koja mu služi kao matte za kontrolu, postavlja dio prve slike preko druge slike.

Matematički, kada postavimo sliku A (foreground) preko slike B (background) koristeći sliku M kao matte za sliku A, dešava se sljedeće:

$$O = (A \times M) + [(1 - M) \times B]$$

Razložimo ovo na korake. Prvo se foreground slika multiplicira sa matte slikom (A X M).

Sve izvan matte okvira postaje crno, a dio slike koji je unutar bijelog dijela matte slike ostaje nepromijenjen.

Drugi korak je uzimanje invertovane matte slike i njeno multipliciranje sa backgroundom.



SLIKA 2.4.1. Multiplikacija foregrounda sa matte-om



SLIKA 2.4.2. Multipliciranje invertovanog matte-a sa bacgroundom

Ovo proizvodi međusliku sa crnom rupom na mjestu gdje će doći foreground.

Proces se završava tako što se ove dvije slike spoje pomoću operatora Add i dobije se finalna slika



SLIKA 2.4.3. Međuslika



SLIKA 2.4.4. Spajanje operacijom Add

Ovaj primjer podvlači važnu stvar kod većine alatki za kombinaciju slike. One su često jednostavno grupa još jednostavnijih operacija koje se primjenjuju sekvencijalno.

Kada se radi o već premultiplificiranim slikama koje su proizvod renderovanja u nekoj alatki za 3D animaciju, jednakost koja opisuje Over operaciju može izgledati kao da sadrži jedan dodatni korak. Zapravo, prva faza Over operacije ($A \times M$) služi za dobivanje normalne premultiplificirane slike koja će se ponašati identično kao slika koja je proizvedena pomoću 3D softvera.

Ako ponovo pogledamo Over operaciju, ovog puta pojednostavljenu za slučaj slike sa integrisanim matte kanalom, jednakost postaje

$$O_{rgb} = A_{rgb} + [(1 - A_a) \times B_{rgb}]$$

Primijetimo da su kolor kanali izlazne slike nezavisni od matte-a backgrounda. Međutim, matte kanal izlazne slike se dobija ovako

$$O_a = A_a + (1 - A_a) \times B_a$$

Također možemo napisati pojednostavljenu jednakost za sva 4 kanala na sljedeći način:

$$O_{rgba} = A_{rgba} + [(1 - A_a) \times B_{rgba}]$$

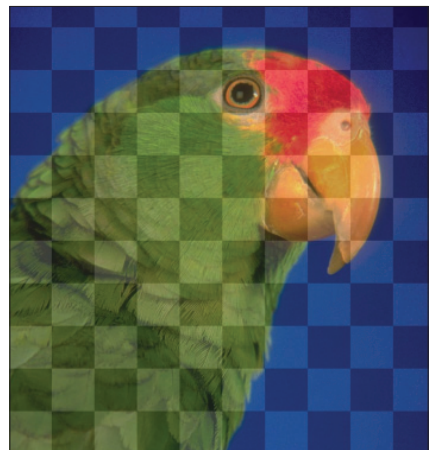
Mix

Mix je otežano, normalizovano sabiranje dvije slike. Drugim riječima, dvije slike se miješaju zajedno u određenom procentu. Sljedeća slika pokazuje rezultat od 75% miješanja slike A sa 25% slike B.

Jednakost za ovakvo miješanje, gdje se "MV" odnosi na vrijednost mix-a (procentat prve slike koji ćemo koristiti), je sljedeća

$$O = (MV \times A) + [(1 - MV) \times B]$$

Ova operacija je poznata i kao "aditivno miješanje" jer se procenti slika sabiraju.



SLIKA 2.4.5. Mix

Subtract

Subtract operator uzrokuje da se svaki pixel slike A oduzima od odgovarajućeg pixela slike B. Jednostavno,

$$O = A - B$$

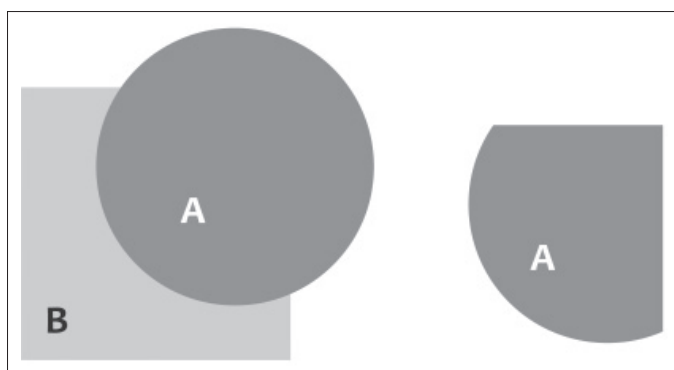
Primijetimo da Subtract nije simetričan operator. Poredak u kome su specificirane slike utiče na rezultat operacije [2].

In

Postoje neki multisource operatori koji zahtijevaju samo matte sliku kao drugi ulaz. (Matte slika može biti ili jednokanalna slika ili alpha kanal neke četverokanalne slike). **In** operator je jedan od takvih. Kako možemo vidjeti iz jednakosti, on ne uzima u obzir kolor kanale druge slike, čak i ako je 4-kanalna:

$$O = A \times B_a$$

In operator se obično upotrebljava za postavljanje slike A u sliku B. Rezultat je slika koja se sastoji samo od područja u slici A koje preklapa matte slike B. Na lijevoj strani sljedeće slike se vidi slika A (tamno sivi krug) postavljena na određenu poziciju relativno u odnosu na sliku B (svijetlo sivi kvadrat). Za obje slike se pretpostavlja da imaju odgovarajući matte kanal koji odgovara geometrijskom obliku. "A in B" je prikazano na desnoj strani slike.



SLIKA 2.4.6. Operacija In i matte kanal

Out

Out operator je inverzan u odnosu na **In** operator. Finalna slika se sastoji od onih pixela slike A koji se ne preklapaju sa matte-om slike B.

$$O = A \times (1 - B_a)$$



SLIKA 2.4.6. Operator Out

2.4.2. Keying

U procesu keyinga odabrana boja (**key boja**) se zamjenjuje slikom iz gornjeg layer-a. To može biti bilo koja boja, zavisno od načina keying-a.

Proces keyinga se sastoji od sljedećih koraka:

- izabere se key boja pomoću kolor picker-a
- zadaju se parametri tolerancije i softness-a koji određuju oblik ivica prikazanog područja i čiste eventualne nepreciznosti u keying-u.
- softver zamjenjuje dijelove slike koji sadrže key boju backgroundom.

U sljedećem primjeru ćemo vidjeti osobu uslikanu na zelenoj pozadini (zeleni ključ), koja je ukijana na kompjuterski generisanu pozadinu.



SLIKA 2.4.7. Virtuelni vodič na zelenom ključu



Slika 2.4.8. Virtuelni vodič ukijan u 3D virtuelno okruženje

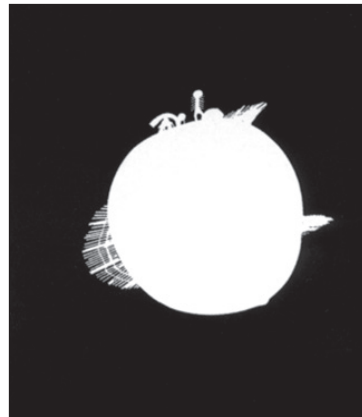
U ovom primjeru key boja je boja pozadine (zeleni). U procesu keyinga često se pojavljuje obrub oko osobe, posebno na području kose. Ova nepravilnost se može ispraviti pomoću korištenja metoda pod nazivom spill suppression. Ovaj metod se implicitno poziva u programima kroz podešavanje odgovarajućih parametara.

Ovaj primjer keying-a je urađen bez matte image-a (key maske). U sljedećem primjeru imaćemo key masku pomoću koje ćemo ukijati gornji layer na background.

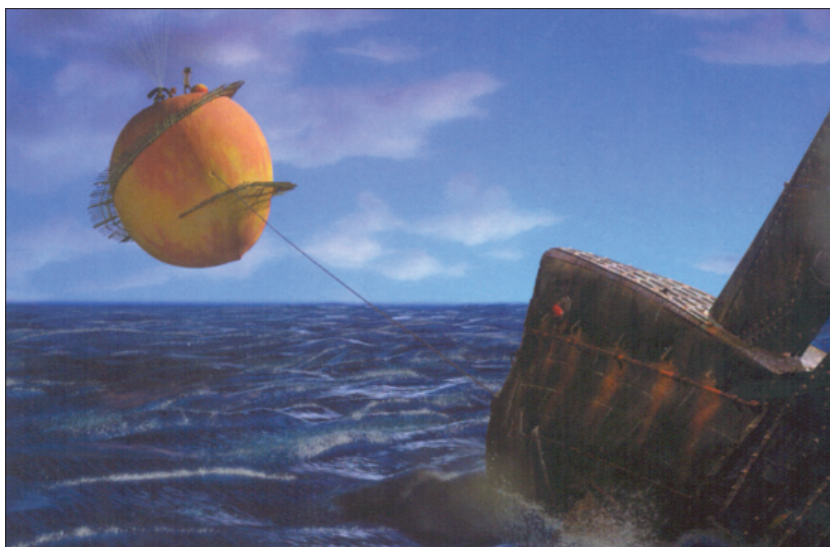
Keying sa korištenjem matte-a vidi se u primjeru iz filma “James and the Giant Peach”



SLIKA 2.4.9. a) slika



b) matte



c) finalna slika

2.4.3. Operacije za procesiranje slike

Osnovne operacije za procesiranje slike koje na ulazu imaju jednu sliku mogu se podijeliti u tri grupe:

- kolor manipulacije
- prostorni filteri
- geometrijske transformacije

2.4.3.1. Kolor manipulacije

U procesu compositinga vrlo često se na pojedine layere primjenjuju kolor manipulacije ili kolor korekcije. One se koriste ili za korekciju slike koja nije zadovoljavajućeg kvaliteta, ili kao specijalni efekat, odnosno izražajno sredstvo u dizajnu animacije.

U nastavku ćemo prezentirati kako su implementirani neki osnovni operatori za kolor korekciju.

Brightness

Pretpostavimo da treba uzeti svaki pixel slike i povećati ga za određenu vrijednost. Početna slika izgleda ovako



SLIKA 2.4.10. Početna slika



SLIKA 2.4.11. Primjena operatora Brightness

Primjena brightness-a u vrijednosti 2.0 daje sljedeću sliku:

Ako pogledamo grafikon ove operacije, vidjećemo da vrijednost pixela 0.5 (srednje siva) odgovara vrijednosti pixela 1.0 (bijela) u novoj slici. Drugim riječima, svaki pixel je duplo svjetliji nego što je bio prije ove operacije. Kako se obično vrijednosti pixela kreću od 0 do 1, vrijednosti izvan ovog opsega mogu se “odsjeći”, ali i ne moraju, u zavisnosti od alatke za compositing koju koristimo.

U našem primjeru, svi pixeli koji izlaze izvan opsega se odsijecaju

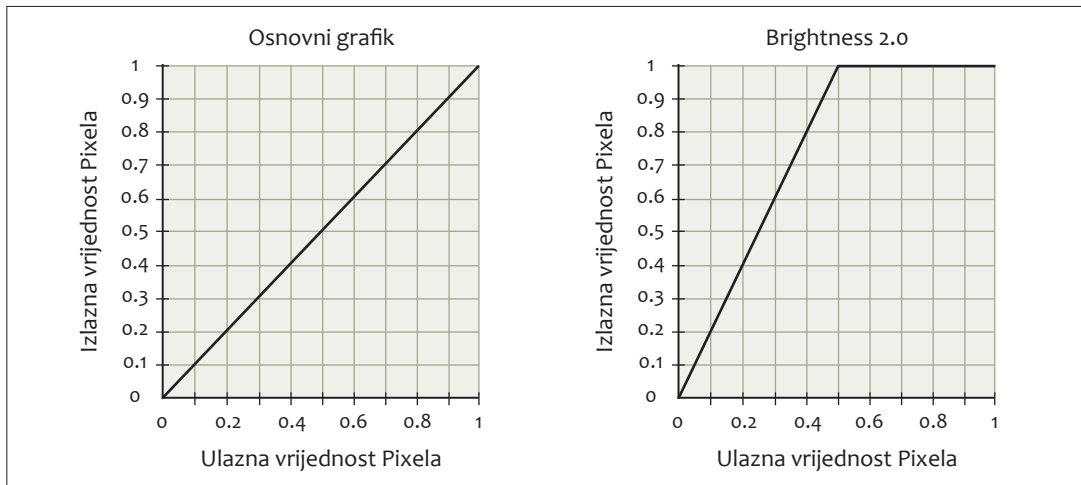
Ovaj operator se može opisati na sljedeći način.

I = ulazna slika

O = izlazna slika

Našem primjeru odgovara jednakost

$O = I \times 2.0$

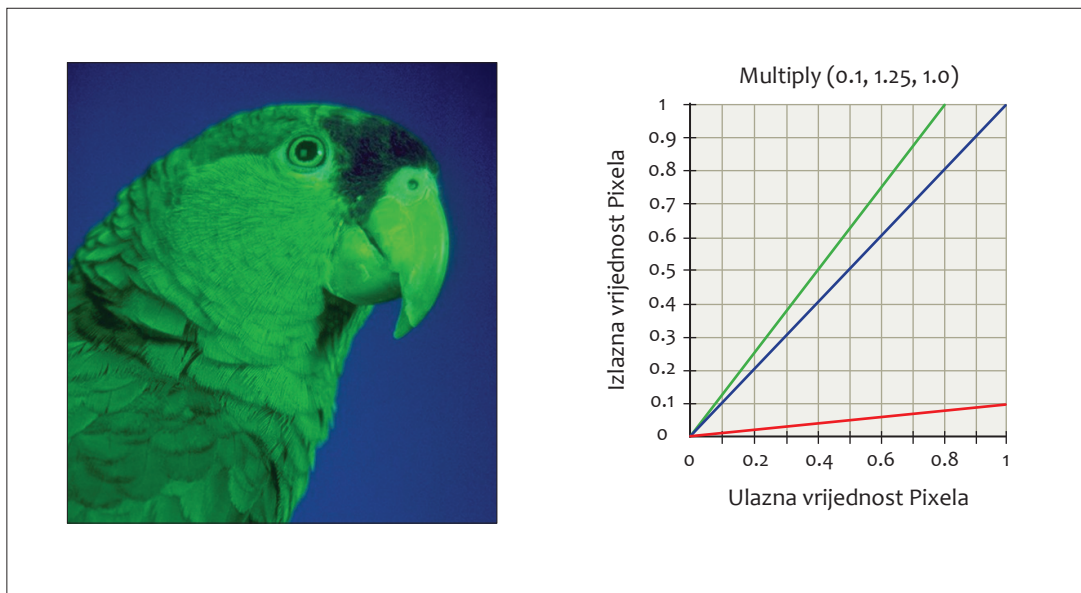


SLIKA 2.4.12. Grafikoni za Brightness

RGB Multiply

Primjer Brightness operatora je bio specijalni slučaj **RGB Multiply** operatora, gdje je svaki pixel multipliciran istim brojem (2.0). Međutim, često imamo potrebu da radimo sa digitalnom slikom kao sa grupom kanala, umjesto kao sa skupom individualnih pixela. U tom slučaju možemo primijeniti multiplikaciju na svaku komponentu pixela posebno i to ne mora biti identično. Možemo, na primjer, primijeniti multiplikator 0.1 na crveni kanal, multiplikator 1.25 na zeleni kanal i ostaviti plavi kanal nedirnuto (multiplicirati ga sa 1.0).

Rezultat ovog postupka i grafikon prikazani su na sljedećoj slici



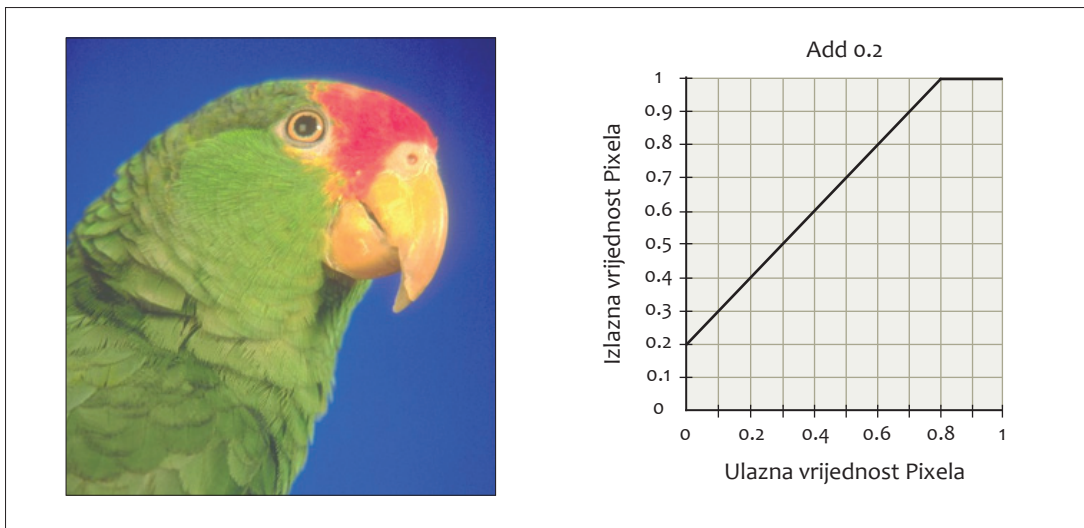
SLIKA 2.4.13. Operator Multiply i grafikon

Add

Umjesto što se utiče na svjetloću slike pomoću multipliciranja, možemo dodati ili oduzeti konstantnu vrijednost od svakog pixela. Razmotrimo situaciju u kojoj želimo da dodamo vrijednost 0.2 svakom pixelu slike

$$O = I + 0.2$$

Rezultat i grafikon izgledaju ovako



SLIKA 2.4.14. Operator Add i grafikon

Primijetimo da, dok operacija multiplikacije čuva najdublje tamne tonove boje na istom nivou, crne boje u ovom primjeru su postale sive, kao da su “izaprane”. Razlog je očigledan: kod Multiply operatora vrijednost 0 ostaje 0 kada se množi sa bilo kojim brojem, a mali brojevi i dalje ostaju mali. U slučaju Add operatora, dodaje se vrijednost na svaki pixel, pa se i oni pixeli koji su imali vrijednost 0 povećavaju za vrijednost koja se dodaje (u našem slučaju 0.2).

Operatori Multiply i Add često nisu zadovoljavajući za kvalitet izlazne slike. Kod Multiply operatora se pojavljuju područja u slici koja su previše svijetla (vrijednost 1.0) pa izgledaju kao da si “izgorena”, a Add proizvodi “izapran” izgled slike. Zato se u tim slučajevima koristi Gamma operator.

Gamma korekcija

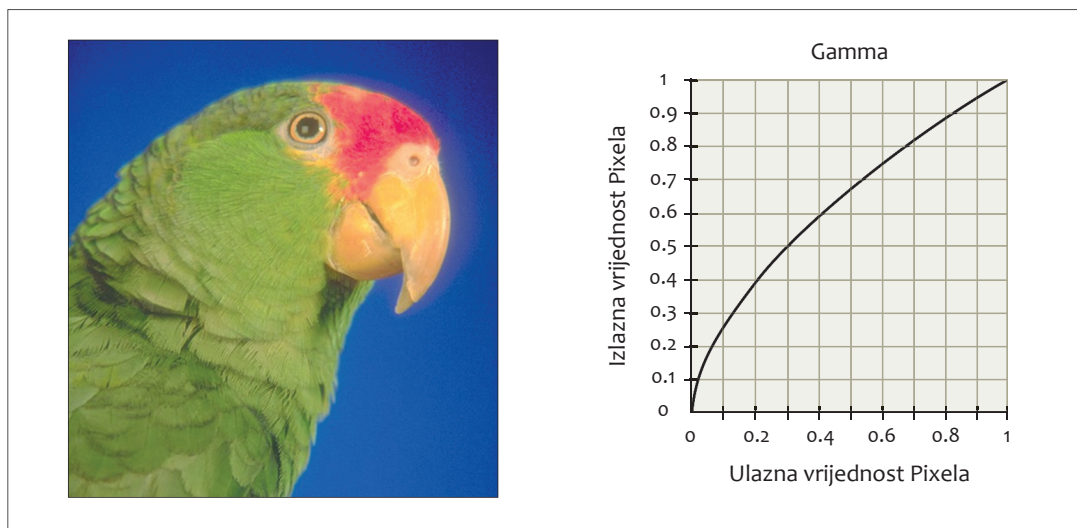
Gamma korekcija koristi sljedeću eksponencijalnu funkciju

$$O = I^{1/\text{Gamma}}$$

Drugim riječima, vrijednost svakog pixela se podiže na stepen $1/\text{Gamma}$. Npr. vrijednost 0.5 biće 0.665, ako se koristi $\text{Gamma} = 1.7$

Pravi razlog što je Gamma operator tako popularan je jasan kada provjerimo šta se dešava kada dižemo nulu na neki stepen. Ona i dalje ostaje 0. Isto se dešava i sa vrijednosti 1.0. Znači, gamma operator utiče samo na pixele koji nisu ni bijeli ni crni.

Pogledajmo grafikon Gamma operatora za $\Gamma = 1.7$ i rezultat primjene ove operacije na sliku



SLIKA 2.4.15. Operator Gamma i grafikon

Vidimo da je operacija najviše uticala na srednje tačke vrijednosti pixela, a najmanje na ekstremne. Slika izgleda svjetlija, ali su izbjegnuti oni neželjeni efekti koje smo opisali u prethodnom pasusu.

Invert

Izrazito jednostavan operator, a mnogo se koristi. Može se izraziti pomoću jednakosti

$$O = (1 - I)$$

Svaki pixel se zamjenjuje vrijednošću oduzetom od 1.0. Rezultat izgleda slično kao negativ kod fotografije. Boje su konvertovane u svoje komplemente, a svijetla područja postaju tamna i obrnuto.

Ovaj operator se često koristi za modificiranje slika koje se upotrebljavaju kao maske ili matte-ovi.

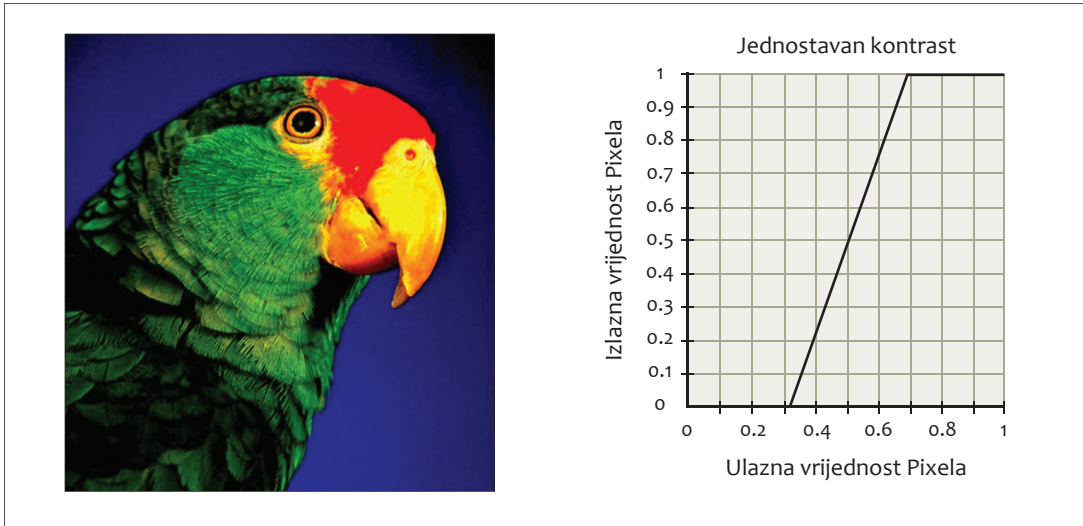
Kontrast

Contrast operator se koristi za promjenu relacije svjetloće između donjih i gornjih opsega boje slike. Povećanje kontrasta rezultira da tamna područja postaju još tamnija, a svijetla još svjetlija. Smanjivanje kontrasta će približiti intenzitet svijetlih i tamnih područja.

Kontrast se može implementirati korištenjem kombinacije alatki koje smo već opisali. Npr, ako želimo da povećamo kontrast slike, možemo prvo oduzeti konstantnu vrijednost i zatim multiplicirati rezultat drugom konstantom. Jednakost ove operacije je sljedeća

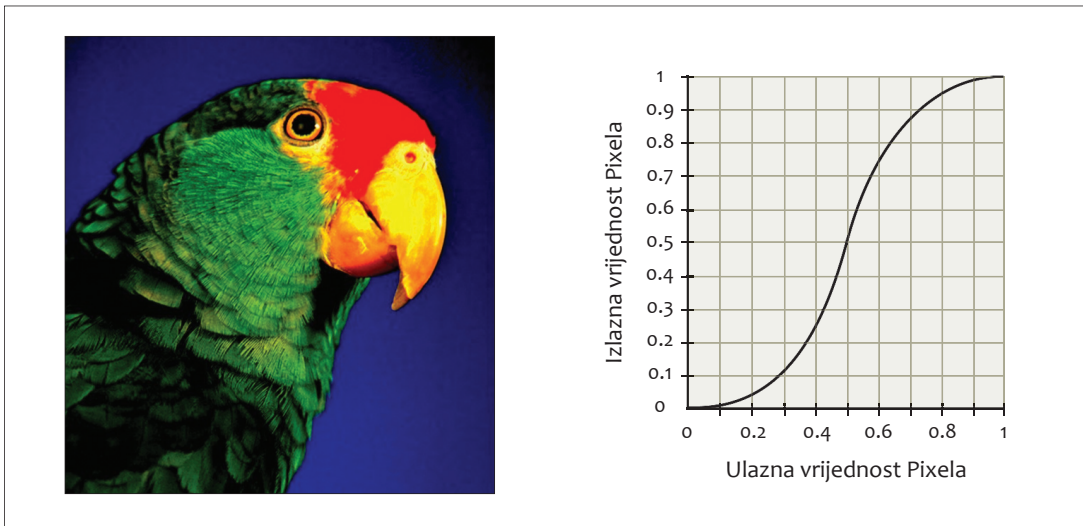
$$O = (I - 0.33) \times 3$$

a grafikon i rezultujuća slika



SLIKA 2.4.16. Operator Contrast i grafikon

Bolji sistem bi bio da se primijene krive u obliku game na gornje i donje opsege boja, kao na sljedećem grafikonu. Na rezultujućoj slici se vidi da je ona mnogo čistija, posebno na rubovima spektra.



SLIKA 2.4.17. Primjena gamma krivih

2.4.3.2. Prostorni filteri

Manipulacije slikom o kojima smo do sada govorili su uključivale direktno mapiranje između date ulazne boje i date izlazne boje. Ovo mapiranje moglo se opisati jednostavnom funkcijom i za računanje izlaznog pixela trebala je vrijednost ulaznog pixela i jednakost te funkcije. Sada ćemo razmatrati novu klasu alatki koje ne uzimaju u obzir samo pojedinačni pixel, nego i njegove susjedne pixele. Ovaj tip alatke naziva se **prostorni filter**.

Convolve

Jedan od najčešćih prostornih filtera je **spatial convolution filter**. On iterativno razmatra određeni pixel, kao i određeni broj susjednih pixela i zatim koristi otežanu srednju vrijednost za određivanje vrijednosti izlaznog pixela. Grupa pixela koja se razmatra naziva se **kernel**, i to je obično četverougona grupa pixela koja ima neparan broj redova i kolona. Do sada su kerneli najčešće bili formata 3×3 ili 5×5 , ali nekada se mogu koristiti i veći.

Rekli smo da convolve filter koristi otežanu srednju vrijednost za određivanje vrijednosti izlaznog pixela. Da bismo kontrolisali to otežavanje, definišemo određeni **convolution filter** koji se koristi za računanje. Ovaj filter je iste veličine kao kernel koji namjeravamo da koristimo i sadrži seriju različitih brojeva u obliku četvorougona matrice. Brojevi u ovoj matrici će dramatično uticati na rezultujuću sliku.

Pretpostavimo da koristimo sljedeću matricu za kernel veličine 3×3

```
-1  -1  -1
-1  8  -1
-1  -1  -1
```

Smatrajmo ovo maskom koja će se postaviti preko izvornih pixela, gdje je izvorni pixel poravnat sa centrom matrice i svaki od osam susjednih pixela je poravnat sa onim pixelom koji mu po poziciji odgovara. Nakon toga multipliciramo svaki pixel sa koeficijentom sa kojim je poravnat. U ovom primjeru vrijednost susjednih pixela se multiplicira sa -1 , a izvorni pixel se multiplicira sa 8 . Sada sastavljamo sve ove vrijednosti da bismo dobili novi broj koji postaje vrijednost izlaznog pixela. (Brojevi iznad 1.0 ili ispod 0 se odsijecaju). Ovaj proces se ponavlja za svaki pixel u izvornoj slici dok se, tačku po tačku, ne kreira nova slika.

Objašnjena operacija je prikazana na slici 2.4.18. Ovaj filter se koristi za detekciju ivica u slici. Možemo vidjeti da on proizvodi svijetle pixele gdje god postoji prelazno područje u slici, a tamne pixele ondje gdje izvorna slika ima konstantnu boju.



SLIKA 2.4.18. Convolution filter

Blur

Postoje različiti algoritmi za bluriranje slike, ali su osnovni koncepti isti. Pixeli nove slike su proizvod srednje vrijednosti između ulaznog pixela i njegovih susjeda. Vizualno, rezultat je redukcija oštine slike.

Najčešće algoritmi za bluring koriste jednostavni convolve. Npr, 3X3 convolve pomoću filtera

$$\begin{matrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{matrix}$$



SLIKA 2.4.19. Blagi blur

rezultira blagim blurom, kao što je prikazano na slici 2.4.19.

Korištenje većeg kernela će proizvesti mnogo veći blur, ali na račun brzine procesiranja.

Sharpen

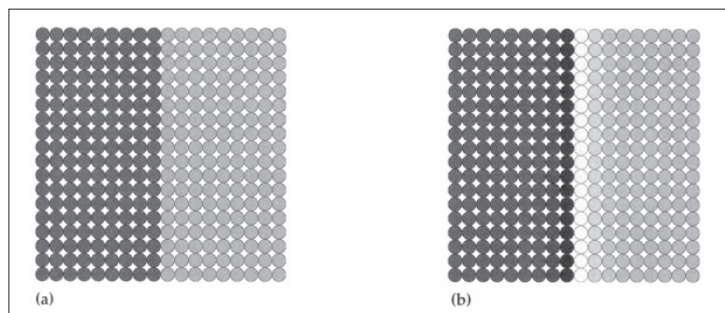
Obzirom da možemo zablurirati sliku, logično je da je možemo i “izoštriti”. Sharpen operator radi na principu povećavanja kontrasta između prelaznih područja u slici. Ovdje treba imati na umu da alatke za sharpening nikada ne mogu kreirati izgubljenu informaciju. Nikakvi detalji se ne dodaju slici, samo se poboljšava njihova percepcija. Ovaj trik funkcionira do određene granice, izvan koje se pojavljuju neželjeni efekti.

Sharpening se može uraditi ili koristeći convolve filter kao što je

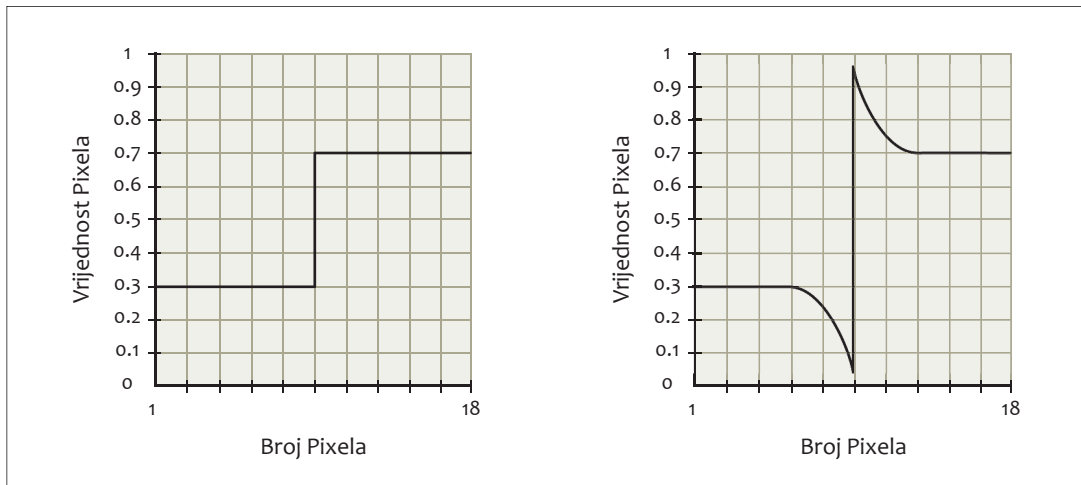
$$\begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix}$$

ili pomoću drugih tehnika kao što je **unsharp masking**. Uskoro ćemo vidjeti da to nije ni važno jer je princip isti.

Slika 2.4.20. pokazuje uvećani pogled na jednu ivicu u ulaznoj slici, u ovom slučaju na pravolinijski prelaz od tamno sivog do svijetlo sivog. Slika b) pokazuje isto područje nakon što je primijenjen sharpening. Ako kreiramo grafikon baziran na vrijednostima horizontalnog presjeka originalne slike i izlazne slike oni će izgledati ovako:



SLIKA 2.4.20. Uvećani pogled na ivicu prije i poslije Sharpen-a



SLIKA 2.4.21. Grafikoni presjeka

Vidimo nagli rast kontrasta na ivici prelaza. Tamna područja postaju malo tamnija, a svijetla malo svjetlija. Dobre alatke za sharpening nam pružaju mogućnost da izaberemo količinu izoštravanja.

Sljedeće slike ilustruju primjenu male i velike količine sharpeninga na originalnu sliku. Treća slika pokazuje neželjene efekte nastale usljed prevelikog sharpeninga.



SLIKA 2.4.22. Primjena različitih količina sharpeninga

2.4.3.3. Geometrijske transformacije

Geometrijske transformacije slike uzrokuju da neki ili svi pixeli slike promijene svoje lokacije. Ovakvi efekti uključuju **panning (pomjeranje)**, **rotaciju**, **skaliranje**, **warping** i slične.

Prvo ćemo razmotriti najjednostavnije transformacije: pomjeranje, rotaciju i skaliranje.

Kada razmatramo pomjeranje slike, treba uvažiti da se ona pomjera relativno u odnosu na nešto. Najlakše je uzeti da se slika pomjera u odnosu na neki prethodno definisani okvir. U procesu

compositinga uvijek se prvo definiše radna rezolucija i onda se sve pomjera u tom okviru. **Radna rezolucija** je obično rezolucija slike koja će biti proizvedena nakon procesa compositinga.

U ovom primjeru radna rezolucija će biti 1200x900 pixela. Rezolucija ulazne slike je 800x545. Moramo još definisati koordinatni početak (lokacija $(X,Y) = (0,0)$). Pretpostavimo da je to donji lijevi ugao okvira.



SLIKA 2.4.23. Radna rezolucija

Sada je ulazna slika postavljena u koordinatni početak.

Pomjeranje

Pretpostavimo da želimo napraviti jednostavnu translaciju slike, pomjerajući je i po X i po Y osi. Ovakva translacija se obično zove **pan**. U ovom slučaju, pomjerićemo sliku za 150 pixela po obje ose. Nova slika izgleda kao da je centrirana unutar okvira.



SLIKA 2.4.24. Pan

Šta se dešava ako pomjerimo sliku za 700 pixela po X osi, tako da dio slike izade iz granica našeg okvira?

Rezultat je prikazan na sljedećoj slici. Međutim, pitanje šta se radi sa ostatkom slike zavisi od sistema za compositing. Neki sistemi odbace ovaj dio slike i on se više ne može oporaviti, drugi ga čuvaju za slučaj potrebe da se taj dio slike oporavi, a neki imaju opciju **wrapping** koja omogućava da se taj dio slike pojavi sa druge strane okvira.



SLIKA 2.4.25. Slika izlazi izvan okvira radne rezolucije

Rotacija

Dva parametra koja su potrebna za kontrolu jednostavne rotacije su **iznos** rotacije (obično u stepenima) i **centar** rotacije. Promjena centra rotacije može dramatično uticati na rezultat. Uporedimo sljedeće dvije slike gdje imamo rotaciju oko koordinatnog početka na jednoj i oko centra slike na drugoj slici. Obje slike su rotirane za 30 stepeni.

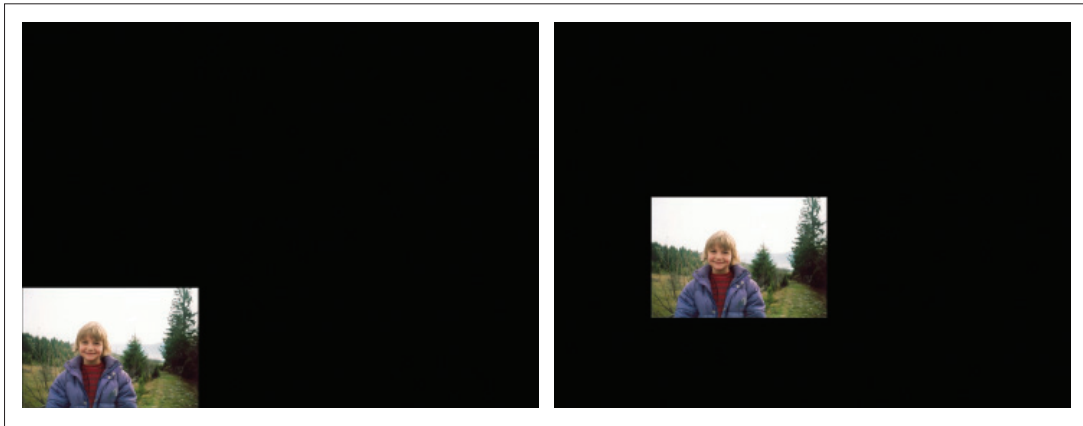


SLIKA 2.4.26. Rotacija

Skaliranje

Posmatrajmo slučaj skaliranja slike. Opet pravimo razliku između skaliranja oko koordinatnog početka i skaliranja oko zadatog centra. Ukoliko ova opcija ne postoji u sistemu za compositing, uvijek je možemo nadoknaditi dodatnim pomjeranjem slike.

Skaliranje ne mora biti uniformno nego može biti različito po pojedinim osama. Također, skaliranje za vrijednost -1 po X osi zove se “flip”, a po Y osi “flop” slike.



SLIKA 2.4.27. Skaliranje

Na slici su prikazana skaliranja oko različitih centara.

2.4.3.4. Filtering algoritmi

Svaki put kada se geometrijska transformacija primjenjuje na sliku, postoji faza kada kompjuter samplira originalnu sliku i kreira novu. Unutar ove faze postoji izbor tipa **filtera** koji će se koristiti za proizvodnju nove slike.

Razmotrimo situaciju u kojoj skaliramo sliku na jednu desetinu njene originalne rezolucije. Postoji nekoliko načina da ovo uradimo. Možemo jednostavno uzeti svaki deseti pixel. Ova tehnika predstavlja vrlo jednostavan filter koji se zove **impulsni filter**. Ovo je vrlo brz način reduciranja slike, ali ne i tako dobar, jer potpuno ignoriše 99% podataka koji čine originalnu sliku.

Razmotrimo primjer najgoreg slučaja. Ako su pixel 1 i pixel 10 crni, a pixel 2 i pixel 9 bijeli, naša skalirana slika će uzeti crni pixel za novi pixel broj 1, iako je srednja vrijednost bliža bijeloj. Bolji filtering algoritmi posmatraju sve pixele originalne slike i selektivno traže srednju vrijednost da bi se postiglo da novi pixeli bolje odražavaju podatke u originalnoj slici.

Biranje određenog filtera se ne radi samo prilikom skaliranja slike. Svaka geometrijska transformacija koristi neki filter za računanje rezultujuće slike. Napredni sistemi za compositing nude mnoštvo različitih filtera da se izaberu po imenu, dok oni jednostavniji ostavljaju izbor između “high-quality” i “low-quality” opcija.

Različiti tipovi filtera mogu proizvesti promjene na kvalitetu rezultujuće slike, posebno ako se radi o pokretnoj slici. Npr. kada animiramo pan moramo biti sigurni da je filter u stanju da radi sa inkrementima koji su manji od pixela. Ovaj filter se zove **subpixel** i sprječava da slika skače po

granicama pixela prilikom kretanja. S druge strane, ako koristimo geometrijsku transformaciju da veoma malo pomaknemo sliku (bez animacije), bolje je izabrati filter koji ne resamplira, nego čuva originalne podatke.

Iako ne postoji savršeni filter, postoji mnoštvo različitih filtera koji se obično koriste sa algoritmima za procesiranje slike. Sljedeća lista spominje nekoliko filtera koji obično stoje na raspolaganju za promjenu veličine slike. Resizing filter se može ponašati na isti način kao sharpening operator, tako da se kod određenih upotreba mogu pojaviti neželjeni efekti. Drugi resampling filteri mogu proizvesti aliasing. Filteri boljeg kvaliteta su skuplji sa stanovišta upotrebe memorije i procesora.

- **Impulsni filter** je najbrži metod za resampliranje slike jer samplira samo po jedan pixel originalne slike da bi odredio vrijednost datog pixela u novoj slici. On je također poznat i kao Dirac filter ili nearest-neighbour filter. Iako brz, on proizvodi značajnu količinu aliasinga skoro u svakoj situaciji. Zato se najčešće koristi kada je brzina prioritet.
- **Box filter** je nešto boljeg kvaliteta, ali još uvijek proizvodi neželjene efekte. Kada se slika povećava ona izgleda kao da je od kocki.
- **Triangle filter** uzima u obzir neznatno veće područje kod resampliranja i koristi se za uvećavanje slike u svrhu pregleda
- **Mitchell filter** predstavlja dobru ravnotežu između oštine i aliasinga i često je najbolji izbor kada se slika povećava
- **Gaussian filter** je čest filter koji ne proizvodi aliasing, ali uvodi primjetno omekšavanje slike.
- **Sinc filter** je veoma dobar u čuvanju malih detalja bez uvođenja mnogo aliasinga. To je vjerovatno najbolji filter za korištenje kad se slika skalira sa veće rezolucije na manju.

Primjer 1 - Lutkokaz

Špica za dječiju emisiju Lutkokaz Federalne televizije kreirana je kombinacijom kompjuterske animacije i compositinga. Ideja je potekla od dizajnera Kurta i Plaste, a režiju potpisuje Aleš Kurt.

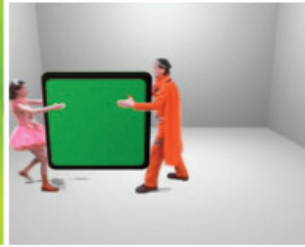
U scenariju za ovu špicu predviđeno je da se radnja dešava u prostoru ispunjenom kutijama. Postoje 3 lika, Mario, Žan i Pipi, koji su uslikani na zelenom ključu i uklapaju se u animaciju. Radnja špice vezana je za song koji je snimljen ranije u kojem pjevaju likovi iz špice.

Na osnovu scenarija uradjen je storyboard koji je bio osnova rada za cijelu ekipu. Ekipa se sastojala od reditelja, dizajnera kompjuterske animacije i compositinga, ekipe u studiju gdje su slikani kadrovi na zelenom ključu (snimatelj, majstor svjetla, scenograf), glumaca i make-up artista.

Storyboard, kadrovi na zelenom ključu i finalni composit prikazani u na sljedećim slikama:



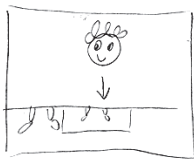
PILI I ŽAN DONOSE KUTIJU



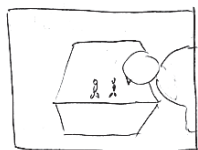
ŽAN OTVARA, DEČA KRIVNU



ŽAN OČEKUJE KUTIJU,
KAMERA SE PUNČI,
ŽAN SE NASLANJA NA
KUTIJU, U KUTIJI SE
MALI ŽAN

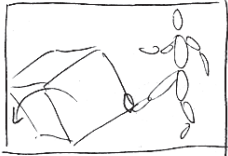


U KADAR SE IŠPETA
KUNDA IZ KADRE VIDI
MARIOVA GLAVA I
POČINJE POKRETNJE - UMJEKME

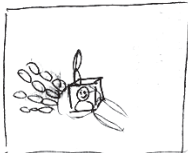
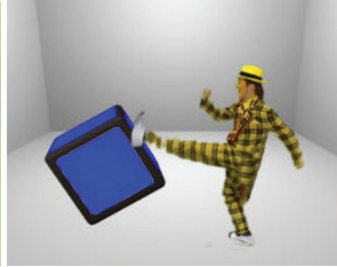


MARIO ZAVIRUJE U KUTIJU.
KAMERA IDE U G. RAKURS,
NA DNU KUTIJE SEDE
ŽAN I PILI - POKRETAJU *KURMI*

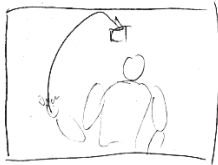




MARIO UDARA NOGOM KUTIJU
I ONA SE OTKRYLA IZ
KADRA (PRIDE TDA SE KAMERA
POMKLA ??)



MARIO VADI IZ DREPA
KUTIJU NA KOJOO SE
NALAZI ŽAN I
PJEVA "LUTAK"



MARIO BACA KUTIJU

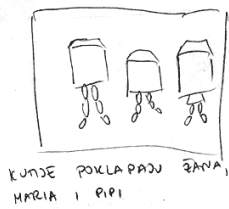
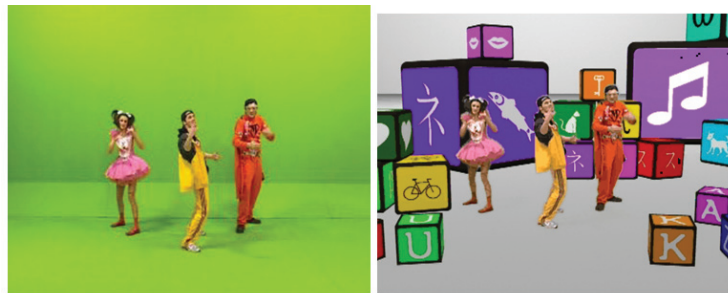
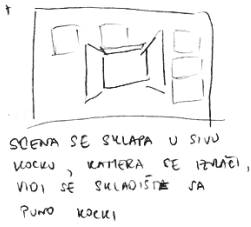


KA MARIA SE ONARA
PROZOR U KOM SE
TADNALIJE ŽAN I PJEVA
"ODIJELO", ZATVARA PROZOR



U KADRU SE POJAVLJUJE OBER
CIGELE I VELIKA KUTIJA
KOJA POKLAPA MARIA
(PRE MA KUTIJU)





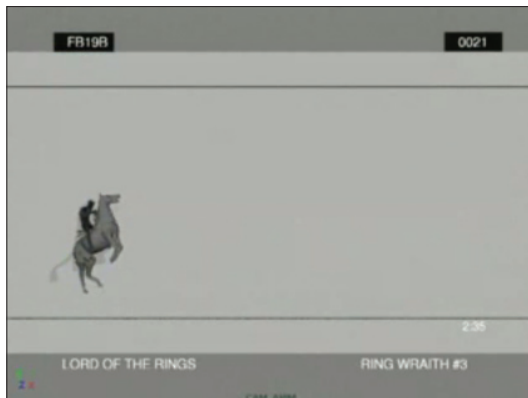
Primjer 2 – Gospodar prstenova (Lord of the Rings)

Scene iz filma “Gospodar prstenova” rađene su ili kao potpuna kompjuterska animacija, ili, većim dijelom, tehnikom compositinga. Kao primjer ćemo navesti scenu prelaska rijeke iz prvog dijela filma, gdje čarobnica začara rijeku da proguta crne jahače. Ova scena se pored slike realne rijeke uslikane kamerom, sastoji iz:

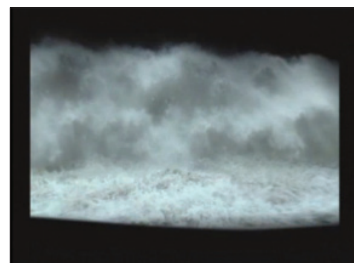
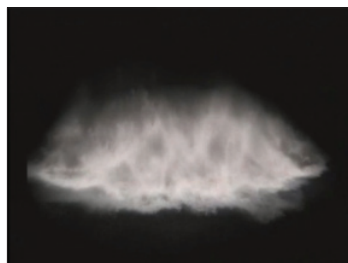
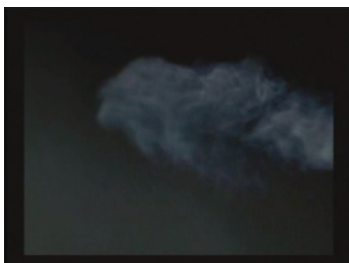
- konjanika glumaca snimljenih na plavom ključu



- konjanika kompjuterskih modela



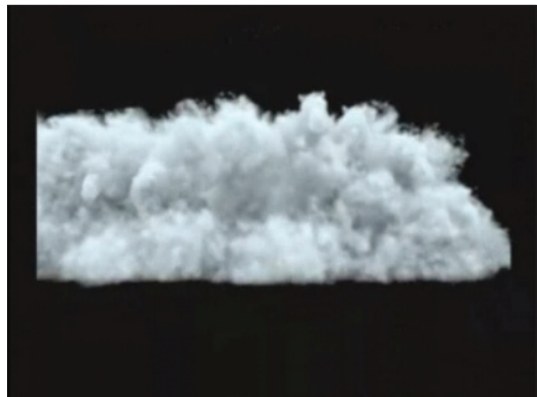
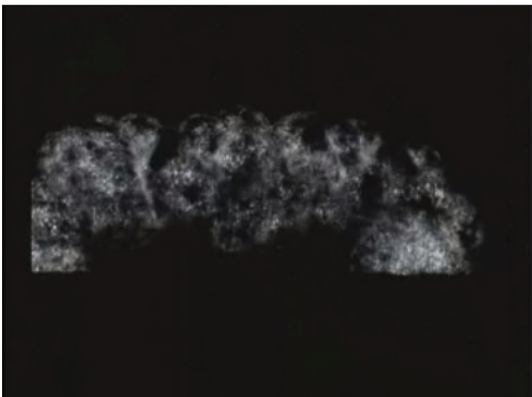
- nekoliko layera vode



- modela vodenih konjskih glava



- dodatnih animacija vode sa dodatim modelima glava



Finalni composite izgleda ovako:



2.5. Proces digitalne produkcije

Postoji mnogo načina da se dizajnira i napravi sekvenca 3D kompjuterske animacije ili kadar vizualnog efekta. Postoje različiti tipovi projekata i različiti ciljevi i resursi. U ovom poglavlju prezentiramo nekoliko metodologija za digitalnu produkciju [1].

2.5.1. Strategije produkcije

Planiranje strategije za projekat kompjuterske animacije obuhvata razmatranje tipa produkcije sa stanovišta tehničke kompleksnosti i osnovnih resursa (budžet, raspored, osoblje, kompjuteri). Strategije produkcije će varirati u skladu sa kombinacijom ovih faktora.

Tip produkcije može biti eksperimentalni kratki animirani film, kadar vizuelnog efekta za igrani film, reklama, epizoda TV animirane serije, itd. Nema standardne dužine trajanja za kompjutersku animaciju.

Tehnička kompleksnost projekta kompjuterske animacije može biti definisana sa koreografske tačke gledišta ili sa aspekta korištenih tehnika. Na početku projekta treba odrediti izlazni medij za projekat (film, TV, DVD i sl.).

Planiranje pretprodukcije vrši se na sastancima stručnih timova. Producenti i režiseri treba da daju kreativnu viziju, vizuelni stil, budžet i rokove. Zatim se vrši razvijanje preciznog plana akcije koji treba da sadrži karakteristike tehničke implementacije za svaki kadar (broj frejmova, kompleksnost modela, broj efekata). Kasnije se vrši prezentiranje rada u toku i izvođenje ciklusa pregleda i odobrenja.

Najbitnije je da se postigne ravnoteža između željenog efekta i najjeftinijeg načina da se on postigne. U okviru planiranja toka produkcije definiše se pisani opis i plan za svaki kadar. Planiranje vrše direktori produkcije ili supervizori sekvence. Ključne riječi u ovom procesu su:

- on-target (različiti pojam za svakog člana ekipe)
- kompromis

Kada su u pitanju kreativni ciljevi projekta art direktor postavlja vizuelni stil koji se ne bi smio mijenjati tokom produkcije.

Projekat kompjuterske animacije je definisan alociranim resursima. Zato budžet treba da bude adekvatan. Raspored se treba bazirati na realnim rokovima, koji određuju osoblje i kompjuterske resurse. Budžet varira prema tipu produkcije.

2.5.2. Studio za digitalnu kompjutersku animaciju

Kompjuterska animacija je timski rad. Proces njene izrade podrazumijeva puno planiranja i konstantnu superviziju. Može se konfigurisati udaljena saradnja članova tima kroz računarsku mrežu. Digitalni studio mora biti konfigurisan i podržan biznis planom.

Ekipe uključuje kreativne, tehničke, produkcijske i administrativne poslove. Broj članova varira u skladu sa veličinom studija (od 5 do 100). Digitalni studio je često orijentisan oko svog

aplikacionog softvera, koji se naziva turnkey software. On uključuje softver koji se može koristiti na svim platformama. Vrlo čest je dodatak određenih dodatak plug-ina. Potrebno je stalno vršiti upgrade softvera i obratiti pažnju na upward and downward kompatibilnost. Operativni sistemi koji se koriste su Linux, Windows, OSX, Irix i Solaris. Proprietary software je softver koji je razvijen interno i može se koristiti zajedno sa turnkey softverom. Ovaj softver je veoma skup i zahtijeva angažovanje programerskog tima.

Snaga procesiranja zavisi od snage, brzine i broja kompjutera. Često se koriste microcomputers, dok se supermicrocomputers – workstations – manje koriste. Kompjuteri se povezuju u rendering farme što povećava efikasnost procesa rendanja.

Periferna memorija je bazirana na veličini, kvalitetu i kompleksnosti kompjuterske animacije. Red veličine su gigabajti (GB) i terabajti (TB). Koriste se RAID disk arrays. U filmu “Final Fantasy” korišteno je 10TB online kapaciteta za 3D podatke i 5 TB za 2D podatke. Mreže se koriste za dijeljenje fajlova i korištenje svih kompjutera u studiju. Za transfer animacija treba nam high-band network.

U procesu produkcije kompjuterske animacije koristi se specifična ulazno-izlazna oprema. Za ulaz se koriste flatbed skeneri i digitalne kamere za teksture i pozadine, film digitizeri za digitaliziranje sekvenci živih kadrova i 3D skeneri za digitalizaciju oblika modela. Za izlaz se koriste high-resolution elektronski i laserski film rekorderi i digital disk rekorderi.

2.5.3. Kreativni, tehnički i produkcijski tim

Projekti produkcije kompjuterske animacije zahtijevaju tim sa različitim vještinama i talentima. Kreativni tim razvija koncept vizuelnog tretmana i kreira scenario ili storyboard. Produkcijski tim izvršava ideje kreativnog tima i proizvodi završenu animaciju, dok tehnički tim daje tehničku podršku, vrši održavanje kompjutera i razvoj softvera.

Kod malih projekata dolazi do preklapanja između različitih uloga u produkciji. To su npr. tv reklame.

Tim za kratki animirani film na primjeru filma “Bunny” sadrži:

Pisac/režiser	1
Producent	1
Supervizor digitalnih efekata	2
Vodeći animator	2
Animator	12
Majstor svjetla	1
Tehnički direktori	19
Modeleri	16
Digital Paint artisti	3
Montažer	1
Koordinator produkcije	1

Softverske alatke	6
Istraživanje i razvoj	6
Sistemska podrška	2
Tehnički asistent	2
Izvršni direktor produkcije	1
Direktor produkcije	1
Asistent produkcije	1
Računovođa	1

Kada su u pitanju veliki projekti kao npr. vizuelni efekti za dugometražni film, tim se razlikuje. **Visual effects group** je zadužena za cjelokupnu produkciju svih specijalnih efekata. Reditelj odlučuje o kreativnom tretmanu za svaki kadar sa efektima, producent vizualnih efekata razvija smjernice produkcije, budžet i raspored, a supervizor vizualnih efekata određuje tehnike produkcije, povezuje žive i digitalne resurse.

Computer animation group je zadužena za proizvodnju animiranih sekvenci. Computer animation supervizor je nadležan za podgrupe, a computer animation production koordinator se brine za potrebe, raspoređuje opremu, osoblje i sastanke. Na sastancima se vrši dodjela kadrova. Animatori dobivaju kadrove prema njihovoj vještini, senzibilnosti, opterećenosti i kontinuitetu. Definišu se kvote materijala (footage quotas) kao broj frejmova koje animator treba dostaviti u toku sedmice.

Grupa za digital compositing i postprodukciju je odgovorna za skeniranje backgrounda, retuširanje, tracking kamera, rotoscoping, compositing i output layera vizualnih efekata, animacije i žive slike.

Administrativni tim je zadužen za finansijska, pravna i marketinška pitanja.

2.5.4. Pregled procesa kompjuterske animacije

Osnovni dijelovi procesa kompjuterske animacije su pretprodukcija, produkcija i postprodukcija.

Temelj projekta kompjuterske animacije je pretprodukcija. Ona uključuje konceptualizaciju i planiranje. U pretprodukciji imamo nevizualne faze kao što su pisanje scenarija, casting i planiranje menadžmenta projekta, kao i vizualne faze kao što su storyboarding i razvoj cjelokupnog vizualnog identiteta projekta. Ako projekat sadrži žive kadrove organizuju se sastanci sa filmskom ekipom i pregled lokacija.

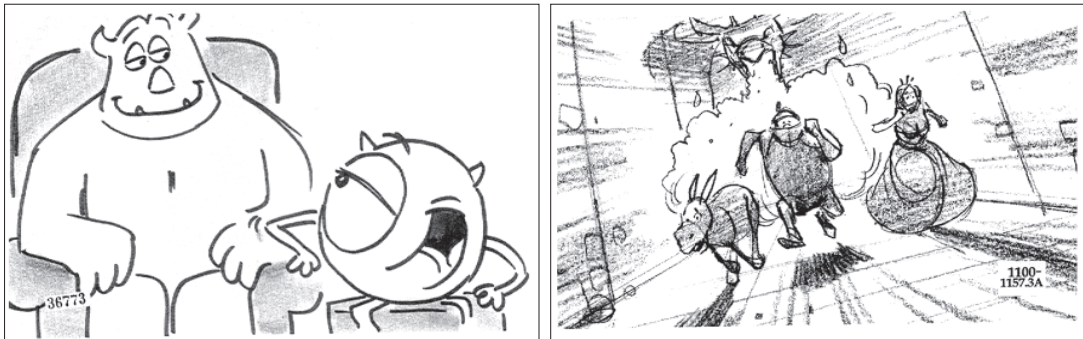
Produkcija uključuje modeliranje, rigging, animaciju, probe pokreta i rendering, dok postprodukcija uključuje compositing, retouching i color correction.

Iza svakog dobrog vizuelnog projekta stoji dobra priča. Razvoj priče se radi na početku projekta i proizvodi se finalni skript. Ako priča sadrži dijalog on se mora snimiti jer vodi animaciju.

Vizualni razvoj projekta podrazumijeva postavljanje vizualnog pravca i stila projekta. Tu imamo kreiranje likova, definisanje tipova okruženja, ukupni stajling, atmosferu i vizualni izgled. Visual development team čine slikari, skulptori i ilustratori. Radi se kreiranje kolor paleta i kolor ključeva za svaku scenu.

Dizajn likova je razvijanje izgleda i karaktera likova u animaciji. Definiše se tip izgleda (cartoony, stiliziran ili realističan) i kreiraju character sheets i character turnarounds. Character sheet je skup crteža koji definišu nastup i poze likova u obliku pozicija tijela i facijalnih izraza. Character turnarounds prikazuju ključne osobine lika sa različitih tačaka pogleda. Također se dizajnira i oprema za likove kao što su vozila, odjeća i drugi objekti koje likovi koriste.

Storyboard je prvi pokušaj da se priča i scenario prevedu u slike. Vršiti se razbijanje scenarija u pogodne jedinice za produkciju. Storyboard se koristi za određivanje da li storytelling treba prilagoditi ritmu sekvence.



SLIKA 2.5.1. Storyboard za kadar iz filma "Monsters"

Da bi se izvršila previzualizacija sekvence kreira se **animatic**. Animatic je skup prostih pokretnih slika koje se koriste za vizualizaciju tajminga i strukture finalnog projekta. 2D animatic se radi skeniranjem crteža iz storyboarda. Kreira se sekvenca slika u vremenu, koja uključuje jednostavne pokrete kamere (zoom i pan) da bi se potcrtao tok akcije. 3D animatic sadrži wireframe ili low resolution probe pokreta iz scena animacije.

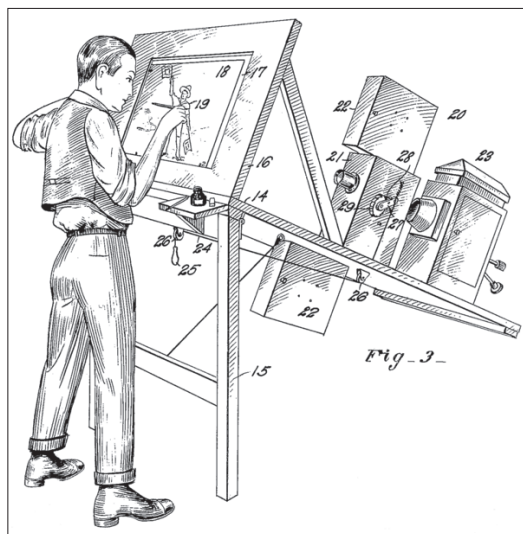
Previzualizacija se nastavlja kreiranjem animacije sa dodatnim detaljima. Pokret lika je sličan finalnom pokretu. **Story reel** je animatic uparen se trackom dijaloga. Montažer ažurira story reel-ove zamjenjujući rane verzije animacije sa finalnim.

Modeliranje

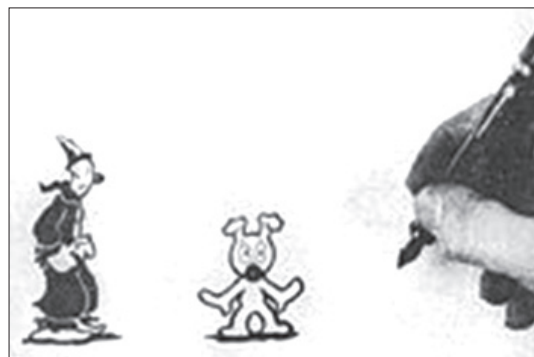
Različiti timovi modeliraju likove, opremu i okruženja. Prvi korak je kreiranje proksija (placeholder geometry). Layout scene obuhvata pozicije i pokrete likova i kamere. Ovo je ranije rađeno sa placeholder geometrijom. Zatim se radi rigging ili postavljanje kontrola animacije. Kreiraju se interni skeleti, motion rigovi i IK lanci. Radi ih tehnički direktor kao pripremu za animatore.

Prije kreiranja finalnog pokreta nekad se radi i live data capture. Koristi se specijalizovani hardver i softver za motion capture. Vršiti se 3D scanning glumaca, opreme ili terena. Ovo obično rade eksterni timovi.

Ako animacija uključuje i elemente žive slike, radi se rotoscoping i camera tracking. Rotoscoping je podešavanje animiranih elemenata prema materijalu žive akcije. Ime nosi po uređaju pod imenom rotoscope (slika 2.5.2.) koji je izumio pionir animacije Max Fleisher 1915. godine za animirani film Koko the Clown (slika 2.5.3.).



SLIKA 2.5.2. Rotoscope, skica za patent, Max Fleisher 1915.

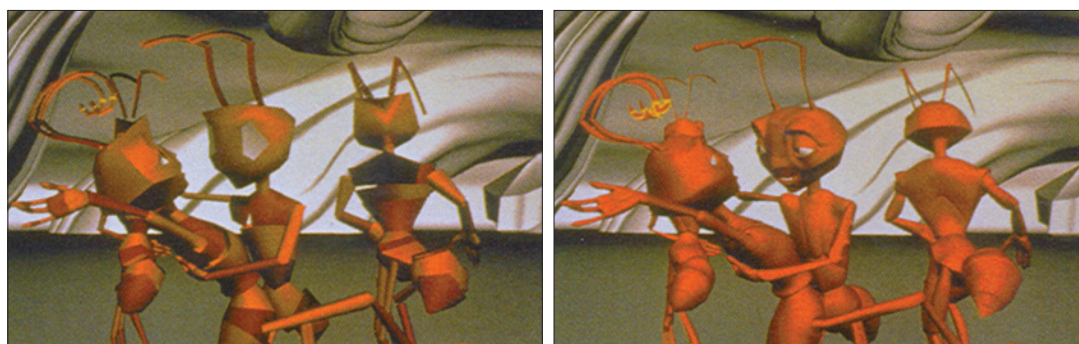


SLIKA 2.5.3. Likovi animirani pomoću rotoscopa, film Koko the Clown, 1915.

Proces sličan rotoscopingu je **camera tracking**, podešavanje virtualne kamere prema realnoj kameri u živom materijalu. Ovaj proces se može uraditi ručno ili poluautomatski.

Bojenje tekstura se vrši pomoću digital paint sistema. Vršiti se skeniranje tradicionalnih materijala. Za fotografske teksture vrši se retuširanje. Kreiraju se i proceduralne teksture procesom kompjuterske animacije.

Animacija likova se radi u fazama, počevši sa grubom animacijom i završetkom sa iščišćenom animacijom. Širi pokreti se rade na placeholder geometriji.



SLIKA 2.5.4. Proxy modeli i detaljniji modeli iz filma "Antz"

Nakon toga se dodaje sekundarna akcija i facijalna animacija. Na kraju se vrši podešavanje preklapajućih pokreta i rade se crowd scene. Njih radi posebna grupa animatora. U toku procesa kreiraju se flipbooks, statični frejmovi korisni za preview i fino podešavanje animacija.

Animacija efekata podrazumijeva animiranje prirodnih pojava (kiša, vjetar, vatra). Koriste se proceduralne tehnike i rade ih tehnički orijentisani animatori.

Osvjetljenje, sjenčenje, rendanje su naredne faze u razvoju kompjuterske animacije. Tim za osvjetljenje vrši postavku izvora svjetla i sklapanje cijele scene. Definiše se sjenčenje, a nekada se radi i razvoj programa za sjenčenje, shadera.

Finalni rendering ima jednu ili više faza u kojima se kreiraju layeri za compositing. **Compositing, postprocesing** i **finalni izlaz** su završne faze projekta. Izlaz je obično na film, video traku, DVD i papir.

Tokom cijelog procesa radi se konstantno upravljanje fajlovima. Postoji mnoštvo fajlova iz različitih scena, kadrova, revizija. Vrše se česti digitalni backupi. Ovo sve radi grupa za tehničku podršku.

3

Rendering

3.1. Globalno osvjetljenje u kompjuterskoj grafici

Prema Watt-u, u kompjuterskoj grafici globalno osvjetljenje (global illumination) je termin koji se odnosi na modele koji renderuju scenu evaluirajući svjetlo reflektovano iz tačke x uzimajući u obzir svo osvjetljenje koje stiže u tu tačku. To znači da ne razmatramo samo svjetlo koje dolazi u tačku direktno iz izvora svjetlosti, nego i svo indirektno osvjetljenje koje je moglo poteći iz izvora svjetlosti preko drugih objekata [4].

Rješavanje problema globalne iluminacije scene omogućava njeno renderovanje tako da se postigne potpuni foto-realizam. Za razliku od lokalnog osvjetljenja koje je detaljno objašnjeno u [5], svjetlo se sada prati kroz okruženje od emitera do senzora, ne samo od emitera do površine, nego od senzora do oka. Ovaj pristup ne zahtijeva dodatne algoritme za sjene koje su jednostavno područja gdje je nivo osvjetljenja reduciran zbog blizine susjednog objekta. Drugi efekti globalnog osvjetljenja kao što su međusobna refleksija objekata i transparentija također se mogu korektno modelirati.

Do sada su se pojavila dva glavna algoritma za globalno osvjetljenje: **ray tracing** i **radiosity**. Oni simuliraju samo podskup globalnih interakcija. Ray tracing pokušava da usavrši spekularnu refleksiju, dok radiosity usavršava difuznu interakciju. Ovo govori da se dosadašnja rješenja koncentrišu na pojedinačne globalne interakcije, ignorišući ostale i smatrajući interakcije perfektnim. U slučaju spekularne interakcije “savršeno” znači da se beskonačno tanka zraka koja pogađa površinu reflektuje bez rasipanja jer se površina smatra savršenom. U slučaju savršene difuzne interakcije pretpostavljamo da se dolazeća zraka svjetla relektuje jednako u svim pravcima u polusferu čiji centar je u tački refleksije.

Ako zanemarimo konačne kompjuterske resurse, rješenje problema globalne interakcije je jednostavno formulisano. Počinjemo od jednog ili više izvora svjetlosti i pratimo svaku zraku kako putuje kroz okruženje, zaustavljajući se kada svjetlo pogodi tačku pogleda, provjeravajući da li se njena energija reducirala ispod nekog minimuma zbog apsorpcije objekata koje je susrela, ili da li putuje izvan okruženja u prostor. U ovom poglavlju predstavimo dva modela globalnog osvjetljenja i dati pregled različitih pristupa ovom problemu.

Prvi od dva modela globalnog osvjetljenja je matematička formulacija, a drugi je klasifikacija u smislu prirode tipa interakcije koja se može desiti kada svjetlo putuje sa jedne površine na drugu. Vrijednost ovih modela je što omogućavaju poređenje između mnoštva algoritama za globalno osvjetljenje od kojih većina ne nudi potpuno rješenje. Po svojoj prirodi algoritmi se sastoje od mnoštva heurističkih detalja i modeli globalnog osvjetljenja podržavaju poređenje koji su aspekti podržani, a koji nisu.

Jednačina renderinga

Prvi model koji ćemo razmotriti je uveden 1986. godine i poznat kao jednačina renderinga [6]. On predstavlja globalno osvjetljenje opisujući šta se dešava na tački x površine. Ovo je potpuno generalna matematička formulacija problema i algoritmi globalnog osvjetljenja se mogu kategorizirati u odnosu na ovu jednačinu. Zapravo, Kajiyama kaže da je njena svrha “da omogućiti jedinstveni kontekst za posmatranje rendering algoritama kao manje ili više ispravne aproksimacije rješenja jedne jednačine”.

Integral je prema originalnoj notaciji koju je uspostavio Kajiya dat ovako:

$$I(x, x') = g(x, x') [\varepsilon(x, x') + \int_s \rho(x, x', x'') I(x', x'') dx'']$$

gdje su

- $I(x, x')$ transportni intenzitet ili intenzitet svjetla koje prolazi od tačke x' do tačke x (neupijeni transportni intenzitet između dvije tačke)
- $g(x, x')$ funkcija vidljivosti između tačaka x i x' . Ako se tačke „ne vide” onda je ova vrijednost 0. Ako se „vide” onda g varira obrnuto proporcionalno kvadratu njihove udaljenosti
- $\varepsilon(x, x')$ je transportna emisivnost od x' do x i vezana je za intenzitet bilo kojeg svjetla samo-emitovanog od tačke x' u pravcu tačke x
- $\rho(x, x', x'')$ je koeficijent rasipanja u odnosu na pravac x' i x'' . To je intenzitet energije koja se rasipa prema x sa tačke na površini koja se nalazi na x' , a koja dolazi iz tačke ili pravca x'' . Kajiya ovo naziva „neupijena transportna reflektivnost tri tačke (unoccluded three-point transport reflectance)”. Ovo je vezano za BRDF (bidirectional reflectance distribution function), koja kategorizira svjetlo koje je reflektovano sa tačke na površini objekta kao

$$\rho(x, x', x'') = \rho(\theta'_{in}, \phi'_{in}, \theta'_{ref}, \phi'_{ref}) \cos\theta \cos\theta'_{ref}$$

gdje su θ' i ϕ' uglovi azimuta i elevacije vezani za tačku x' , a θ je ugao između normale na površinu u tački x i linije $x'x$.

Integral se računa po površini s , za sve tačke na svim površinama u sceni ili za sve tačke na polusferi sa centrom u tački x' . Jednakost tvrdi da je transportni intenzitet iz tačke x' prema tački x jednak svjetlu emitovanom iz tačke x' prema tački x plus svjetlu koje je razasuto od x' prema x sa svih drugih površina u sceni, tj. iz tačke x'' .

Iz gornjeg se može zaključiti da moramo imati:

- model svjetla koje emituje površina $\varepsilon()$
- reprezentaciju BRDF $\rho()$ za svaku površinu
- metod za pronalaženje funkcije vidljivosti

Različiti rendering algoritmi nalaze svoja rješenja za određivanje ovih faktora.

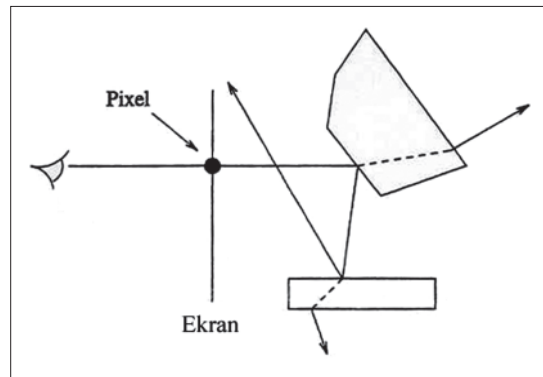
3.2. Ray tracing

Ray tracing renderuje sliku piksel po piksel. Za svaki piksel zamišljena zraka svjetla koja pada na tu tačku slijedi se nazad u prostor objekata da bi se ustanovilo njeno polazište. Ovo omogućava tačno opisivanje spekularnog fenomena, ali se samo pretpostavlja ponašanje kod višestrukih difuznih refleksija.

Sjene dobijene pomoću ray-tracinga su mnogo oštrije i kvalitetnije od običnih sjena, ali je zato proces renderinga duži.

Za računanje ray-tracing-a koristi se struktura podataka koja se zove **quadtree**.

Quadtree predstavlja scenu sa tačke gledišta svjetla. Koriijenski nod quadtree strukture sadrži listu svih objekata koje svjetlo obuhvata. Ako je previše objekata vidljivo, nod generiše četiri druga noda, od kojih svaki predstavlja četvrtinu pogleda i sadrži listu objekata u tom dijelu pogleda. Ovaj proces se dalje nastavlja, dok svaki nod ne bude imao samo mali broj objekata ili dok se ne dostigne granica dubine quadtree-ja. Ova granica se može postaviti za svako svjetlo.



SLIKA 3.10. Put zrake u sliku

Svaka zraka svjetla treba da prođe test presjeka sa objektima u samo jednom nodu listu quadtree-ja. Ovo ubrzava proces ray-tracing-a. Generalno, povećanje maksimalne dubine quadtree-ja ubrzava ray-tracing na račun zauzetosti memorije.

Primjer jednostavne rekurzivne Ray Trace procedure nalazi se u sljedećem kodu:

```

procedure Trace Ray (start, direction: vectors;
                    depth: integer; var colour: colours);
var intersection-point, reflected-direction, transmitted-direction: vectors;
    local-colour, reflected-colour, transmitted-colour: colours;

begin
    if depth > maxdepth then colour:=black
    else
        begin
            { Presijeci zraku sa svim objektima i nađji tacku presjeka
            (ako postoji) koja je najbliza pocetku zrake }
            if {no intesection} then colour:= background-colour
            else
                begin
                    local-colour:= {dio lokalnog kolor modela
                                    na tacki presjeka}
                    {racunaj pravac reflektovane zrake}
                    TraceRay(intersection-point, reflected-direction, depth+1,
                              reflected-colour );
                    {racunaj pravac upijene zrake}
                    TraceRay(intersection-point, transmitted-direction, depth+1,
                              transmitted-colour );
                    Combine (colour, local-colour, local-weight-for-surface,
                              reflected-colour, reflected-weight-for-surface,
                              transmitted-colour, transmitted-weight-for-surface)
                end
            end
        end {TraceRay};

```

Definicija zrake

Dati su vektori početka i pravca zrake

$$R_{\text{origin}} = R_o = [X_o \ Y_o \ Z_o]$$

$$R_{\text{direction}} = R_d = [X_d \ Y_d \ Z_d]$$

gdje je $x_d^2 + y_d^2 + z_d^2 = 1$ (normalizovani)

Zraka se može definisati kao skup tačaka za

$$R(t) = R_o + R_d * t, \text{ gdje je } t > 0$$

Pravac zrake mora biti normalizovan inače će t predstavljati udaljenost u smislu dužine vektora pravca.

Definicija ravni

Ravan je definisana kao matrica $[A \ B \ C \ D]$

$$\text{Plane} \quad A*x + B*y + C*z + D = 0$$

sa jediničnim vektorom ravni

$$P_{\text{normal}} = P_n = [A \ B \ C]$$

D je udaljenost od koordinatnog početka do ravni, a znak D određuje na kojoj strani ravni se nalazi koordinatni početak.

Udaljenost zraka-ravan

Udaljenost od početka zrake do presjeka sa ravni je

$$A*(X_o + X_d * t) + B*(Y_o + Y_d * t) + C*(Z_o + Z_d * t) + D = 0$$

Rješavajući po t dobijamo

$$t = \frac{-(A*X_o + B*Y_o + C*Z_o + D)}{A*X_d + B*Y_d + C*Z_d}$$

U vektorskoj notaciji ovo je

$$t = \frac{-(P_n \cdot R_o + D)}{P_n \cdot R_d}$$

Presjek zraka-ravan

Neka je

$$v_d = P_n \cdot R_d = A \cdot X_d + B \cdot Y_d + C \cdot Z_d$$

Nema presjeka ako je $v_d = 0$, tj. zraka je paralelna sa ravni.

Ako je $v_d > 0$ onda normala ravni pokazuje pored zrake.

Presječna tačka zraka-ravan

Neka je

$$v_o = -(P_n \cdot R_o + D) = -(A \cdot X_o + B \cdot Y_o + C \cdot Z_o + D)$$

$$\text{Onda je } t = \frac{v_o}{v_d}$$

Ako je $t > 0$ onda linija koju definiše zraka presijeca ravan iza početka zrake odakle slijedi da zapravo nema presjeka.

Inače presječna tačka je

$$r_i = [x_i \ y_i \ z_i] = [X_o + X_d \cdot t \quad Y_o + Y_d \cdot t \quad Z_o + Z_d \cdot t]$$

Podešavanje normale površine

Normala površine je potrebna za površine koje su okrenute prema zraci, tj. normala treba da pokazuje nazad u pravcu početka zrake.

Zato ako je

$$P_n \cdot R_d < 0, \text{ tj. } v_d < 0 \text{ onda je } r_n = P_n$$

$$\text{Inače je } r_n = -P_n$$

Algoritam presjeka

1. sračunaj v_d i uporedi ga sa 0
2. sračunaj v_o i t i uporedi t sa 0
3. sračunaj tačku presjeka
4. uporedi v_o sa 0 i promijeni pravac normale ako je potrebno

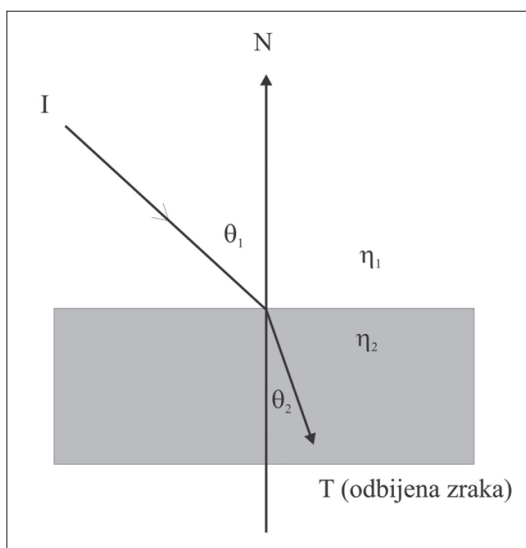
Refrakcija

Zraka koja udara u parcijalno ili potpuno transparentan objekat je upijena u zavisnosti od gustine objekat.

Uglovi upada i refrakcije su vezani Snell-ovim zakonom

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

gdje su upadne i odbijene zrake koplanarne sa normalom površine N.



SLIKA 3.11. Pravac odbijene zrake je predstavljen sa T

$$T_d = \frac{1}{\eta} I_d - \left(\cos\theta_2 - \frac{1}{\eta} \cos\theta_1 \right) N$$

gdje je, $\eta = \frac{\eta_2}{\eta_1}$ $\cos\theta_2 = \eta \sqrt{1 - \frac{(1 - \cos^2\theta_1)}{\eta_2}}$

Raspodjela boje

Raspodjela boje u svakoj tački kod rekurzivnog ray tracing-a je

$$I = I_{\text{local}} + k_r I_{\text{reflected}} + k_t I_{\text{transmitted}}$$

I_{local} je učešće ambijentnog svjetla i direktne iluminacije površine

$I_{\text{transmitted}}$ poziva ekvivalentni izraz na sljedećoj površini koju presijeca upijena zraka

$I_{\text{reflected}}$ poziva ekvivalentni izraz na sljedećoj površini koju presijeca reflektovana zraka

$$I = I_a k_a + I_i [k_d (\text{NoL}) + k_s (\text{NoH})^{ns} + k_t (\text{NoH}')^{nt}] + k_t I_t + k_r I_r$$

gdje su

k_a i k_d funkcije talasne dužine (RGB)

I_t i I_r RGB vektori jer vraćaju intenzitete koji mogu imati lokalnu komponentu

Shadow feelers

Tačka presjeka koja nije direktno osvijetljena sa jednim ili više izvora svjetlosti je u sjeni. Da bismo ovo ustanovili dodatna zraka – shadow feeler se usmjerava od tačke presjeka prema svakom izvoru svjetla. Shadow feeler-i su zrake čiji pravac odgovara vektoru svjetla L.

Ako potpuno neproziran objekat leži na putu ovih zraka onda je tačka u sjeni, što znači da se I_{local} jednostavno postavi na vrijednost ambijentnog svjetla.

Svaki presjek izaziva onoliko shadow feeler-a koliko ima izvora svjetla.

Distribuirani ray tracing

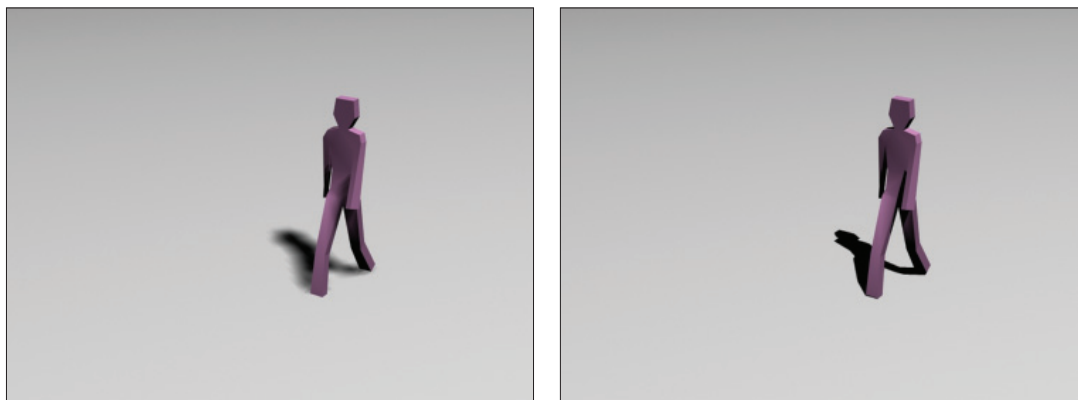
Tracing zraka kao beskonačno tankih snopova svjetla uzrokuje grube sjene, aliasing, oštre refleksije i refrakcije. Ovo se može prevazići korištenjem više zraka na svakoj tački presjeka što je veoma zahtjevno za računanje. U realnosti refleksivne i refraktivne površine prouzrokuju bluriranje zbog nesavršenosti površine i razbacanosti unutar materijala.

Cook je 1984. predložio tracing zraka koje nisu određene perfektnim pravcem refleksije-refrakcije.

Izlazni pravac je sada određen pomoću funkcije spekularne refleksije. Look-up tabela proizvodi pravac iz opsega uglova refleksije i veličine smetnje.

Distribuirani ray tracing ima sljedeće prednosti:

- uključuje stohastički antialiasing
- proizvodi zamagljene refleksije
- proizvodi djelimičnu providnost od upijenih zraka
- zrake sjena proizvode polusjene
- proizvodi vremenski motion blur



SLIKA 3.12. Primjer računanja sjena u 3ds max-u sa i bez ray tracinga

Iz prethodnih slika se vidi koliko su sjene računate pomoću ray tracing-a oštrije i uočljivije. Međutim, rendering slike sa ray tracingom traje znatno duže od renderinga bez ray tracing-a.

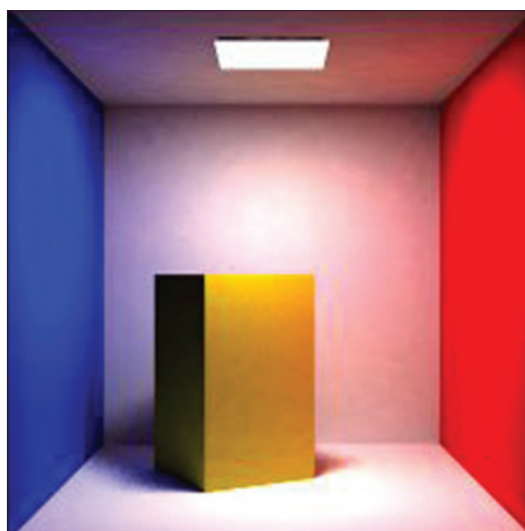
3.3. Radiosity

Radiosity je globalna tehnika osvjetljenja koja računa zračenje za male komadiće površine. Ona opisuje uslove difuzne refleksije koja postoji u okruženju. Neovisna je od pogleda i omogućava veoma brzo renderovanje scene (ponekad u realnom vremenu) linearnom interpolacijom intenziteta svjetla na komadićima. Princip je prvi put objavljen u [8].

Svaka površina u okruženju je osvijetljena kombinacijom direktnog i reflektovanog svjetla. Direktno svjetlo potiče iz izvora svjetla i može prolaziti još kroz neki medij kao što je dim, magla ili prašina. Reflektovano svjetlo je ono koje je nakon emitovanja iz izvora svjetla odbijeno od još neku ili neke površine u okruženju [7].

Kada se energija svjetla reflektuje od neku površinu, ona je određena refleksivnošću te površine jer jedan dio energije može biti apsorbiran, a jedan dio proći kroz površinu. Refleksivnost površine često se definiše kao njena boja. Reflektovana energija svjetla često je obojena, u nekom malom iznosu, bojom površine od koju se odbila.

Ova refleksija svjetlosne energije proizvodi fenomen poznat kao “color bleeding” gdje se boja jarko obojenih površina “cijedi” na susjedne površine.



SLIKA 3.13. Color bleeding

Radiosity metod generisanja kompjuterske slike se bazira na termalnoj energiji. Teorija transfera toplote opisuje radijaciju kao transfer energije sa površine kada je ta površina termalno pobuđena. Ovo obuhvata i površine koje su osnovni emiteri energije, kao što su izvori svjetla, i površine koje primaju energiju od drugih površina i zato imaju energiju za transfer.

Teorija termalne radijacije može se koristiti za opis mnogih vrsta energije između površina, uključujući i svjetlosnu energiju.

Kao kod transfera termalne energije, osnovni radiosity metod pretpostavlja da su površine difuzni emiteri i reflektori energije, koji emituju i reflektuju energiju ravnomjerno unutar cijelog područja. Također se pretpostavlja da se može postići ravnoteža tako da je sva energija u području uračunata kroz apsorpciju i refleksiju (nema gubljenja energije).

Primijetimo da je osnovni radiosity metod nezavisan od tačke pogleda – rješenje je isto bez obzira sa koje tačke se slika posmatra.

Radiosity površine je stepen na kome energija napušta površinu (energija po jedinici vremena po jedinici površine). To uključuje energiju emitovanu od strane površine, kao i energiju reflektovanu od drugih površina.

Radiosity metodi omogućavaju da se izračuna intenzitet radijacijske energije koja dolazi na površinu. Ovi intenziteti se kasnije mogu koristiti za određivanje sjenčenja površine.

Jednakost radiosity-ja opisuje količinu energije koja može biti emitovana sa površine, kao i sumu energija inherentnih na površinu (npr. izvor svjetla) i energiju koja udara u površinu, a emitovana je sa neke druge površine.

Energija koja napušta površinu j i udara u površinu i je određena sa dva faktora:

- “form faktor” koji računa fizičku relaciju između površina
- refleksivnost površine i , koja će upiti određeni procenat svjetlosne energije koja udara u površinu

Jednakost radiosity-a je data sa

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_j B_j F_{ij}$$

gdje je

B_i radiosity površine i

E_i emisivnost površine i

ρ_i refleksivnost površine i

B_j radiosity površine j

F_{ij} form faktor površine j relativno na površinu i

$\sum_j B_j F_{ij}$ energija koja dolazi na površinu od drugih površina

E_i energija emitovana od ove površine

$\rho_i \sum_j B_j F_{ij}$ energija reflektovana od ove površine

Form faktor

Form faktor opisuje dio energije koja napušta jednu površinu i dolazi na drugu. On uzima u obzir udaljenost između površina, računatu kao udaljenost između centara površina i njihovu orijentaciju u prostoru relativno jedna na drugu, računatu kao ugao između svakog vektora normala na površinu i vektora povučenog iz centra jedne površine prema centru druge površine. Ovo je kvantitet bez dimenzije.

Form faktor, kao što je ranije pokazano, se odnosi na dvije različite oblasti (point to point form factor). Da bi se ovaj faktor koristio za površine koje imaju pozitivnu oblast, jednakost mora biti integrirana preko jedne ili obje oblasti površine. Form faktor između tačke na jednoj površini i druge površine sa pozitivnom oblasti može se koristiti ako se pretpostavi da ta jedna tačka predstavlja sve tačke na površini.

Form faktor se definiše kao dio energije koji napušta jednu površinu i doseže drugu. Ovo je čisto geometrijska relacija, nezavisna od tačke pogleda ili atributa površine.

Između različitih oblasti form faktor iznosi

$$F_{dA_i dA_j} = \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j}{\pi |r|^2}$$

gdje su

dA_i, dA_j različite oblasti površina i i j

r vektor od dA_i do dA_j

ϕ_i ugao između normale na i i r

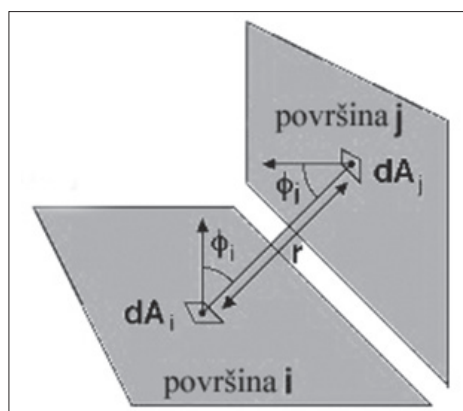
ϕ_j ugao između normale na j i r

Ukupni form faktor između i i j se nalazi integriranjem

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j}{\pi |r|^2} dA_i dA_j$$

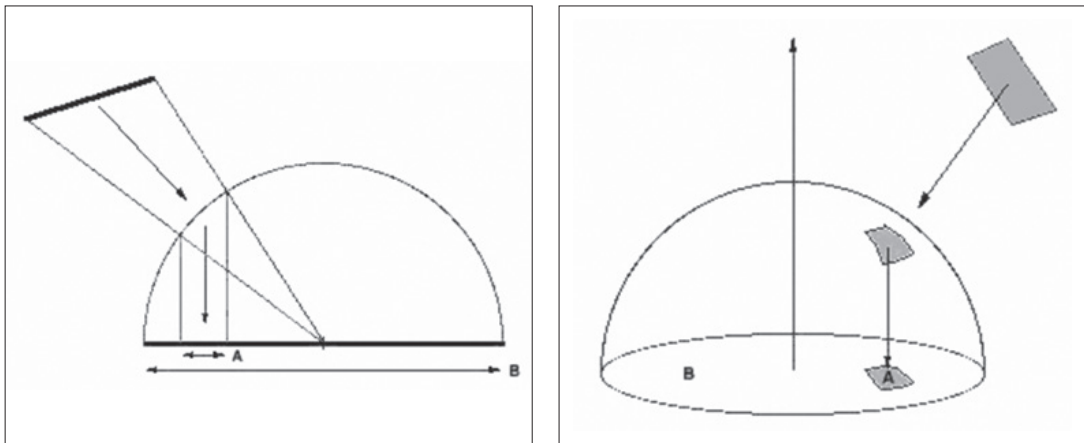
Diferencijacija osnovnog form faktora je teška čak i za jednostavne površine. Nusselt je razvio geometrijsku analogiju koja omogućava jednostavnu i tačnu kalkulaciju form faktora između površine i tačke na drugoj površini.

Nusseltova analogija uključuje postavljanje poluloptastog tijela za projekciju, sa jedničnim radiusom, na tačku površine. Druga površina je sferično projektovana na tijelo za projekciju, zatim cilindrično projektovana na bazu polulopte. Form faktor je onda područje projektovano na bazu polulopte podijeljeno sa oblasti baze polulopte.



SLIKA 3.14. Form faktor

Nusseltova analogija je prikazana na slici u dvije i tri dimenzije



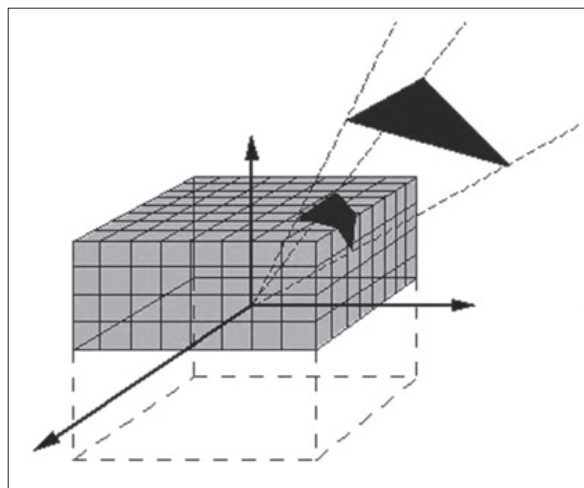
SLIKA 3.15. Nusseltova analogija

U oba dijagrama form faktor je jednak projektovanom području podijeljenom područjem baze ili A/B .

“Polukocka” metod računanja form faktora uključuje postavljanje centra kocke na tačku površine koristeći gornju polovinu kocke (polukocku koja je vidljiva iznad površine) kao tijelo za projekciju.

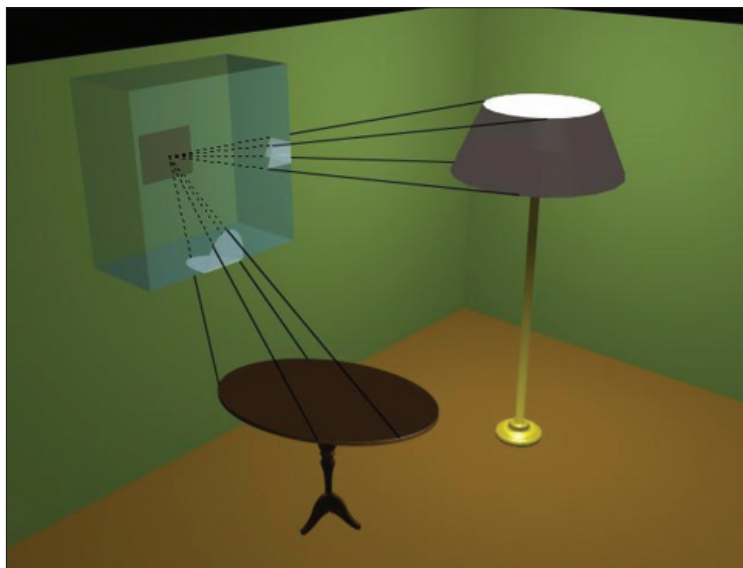
Svaka strana polukocke je podijeljena na skup malih (obično četvorougao) “diskretnih” područja, od kojih svako ima unaprijed proračunatu vrijednost form faktora. Kada se površina projektuje na polukocku, suma vrijednosti form faktora diskretnih područja na stranama polukocke koje su pokrivene projekcijom površine je form faktor između tačke na prvoj površini (oko koje je postavljena kocka) i druge površine (koja je projektovana).

Brzina i tačnost ovog metoda može se promijeniti mijenjajući veličinu i broj diskretnih područja na stranama polukocke.



SLIKA 3.16. Računanje form faktora pomoću polukocke

Računa se doprinos svake ćelije na površini polukocke form faktorom. To je delta form faktor svake ćelije. Poligon se projektuje na polukocku. Delta form faktori za pokrivene ćelije se sumiraju da bi se dobila aproksimacija pravog form faktora.



SLIKA 3.17. Računanje form faktora u sceni sobe

Slika 3.17 prikazuje računanje form faktora između pojedinih površina na zidu sobe i nekoliko površina na objektima u sobi.

Standardni radiosity algoritam za generisanje slike će računati form faktore sa tačke na površini na sve ostale površine, projektovanjem svih ostalih površina na polukocku i smještanjem, za svako diskretno područje, identifikacionog indeksa površine koja je najbliža tački. Kada sve površine budu projektovane na polukocku, diskretna područja sadrže površine koje su odmah vidljive prema tački. Odatavde se računaju form faktori između tačke i površina.

Za veću preciznost, velika površina se obično dijeli na skup manjih površina prije računanja form faktora.

“Full matrix” radiosity algoritam

Razvijene su dvije klase radiosity algoritama koji računaju ekvilibrijum energije u okruženju. To su “full matrix” i progresivni radiosity.

“Full matrix” radiosity računa form faktore između svakog para površina u okruženju, zatim formira seriju simultanih linearnih jednakosti. Ova matična jednačina se rješava po “B” vrijednostima, koje se mogu koristiti kao finalni intenzitet (ili boja) svake površine.

Ovaj metod daje kompletno rješenje, ali po cijenu računanja form faktora prvo za svaki par površina, a zatim rješenje matične jednakosti. Svaki od ovih koraka može biti prilično skup ako je broj površina velik: kompleksna okruženja obično imaju više od 10 hiljada površina, a nisu rijetka ni okruženja sa milion površina. Ovo vodi ka velikoj cijeni ne samo u vremenu računanja, nego i u prostoru za smještanje.

“Full matrix” radiosity zahtijeva da se sračunaju form faktori između svih površina i da se riješi sljedeća jednakost

$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \dots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \dots & -\rho_2 F_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\rho_n F_{n1} & -\rho_n F_{n2} & \dots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \dots \\ E_n \end{bmatrix}$$

gdje je

- ρ_i refleksivnost površine i
- F_{ij} form faktor površine i na površinu j
- B_i radiosity površine i
- E_i emisivnost površine i

Progresivni radiosity algoritam

Progresivni radiosity je inkrementalni metod koji proizvodi međurezultate sa mnogo manje računa i potreba za smještajem. Svaka iteracija algoritma zahtijeva računanje form faktora između tačke na jednoj površini i svih ostalih površina, umjesto N kvadratnih form faktora (gdje je N broj površina u okruženju). Nakon računanja form faktora, ažuriraju se vrijednosti radiosity-a za površine u okruženju.

Ovaj metod će na kraju proizvesti isto kompletno rješenje kao i “full matrix” metod, ali će za razliku od “full matrix” metoda proizvesti i međurezultate od kojih je svaki tačniji od prethodnog, tako da može biti zaustavljen kada se dostigne željena aproksimacija. Također ne traži veliku količinu smještajnog kapaciteta.

```
for each iteration:
    select a surface i
    calculate Fij for all surfaces j
    for each surface j:
        update radiosity of surface j
        update emission of surface j
    set emission of surface i to zero
```



SLIKA 3.18. Iteracije progresivnog metoda

Slika 3.18 pokazuje iterativnu prirodu progresivnog metoda. Vidi se da sa povećanjem broja iteracija raste i preciznost rezultujućeg intenziteta boje. Od posebnog interesa je doprinos boje zidova sobe ukupnoj boji sobe u krajnjem desnom dijelu slike.

Razvijeno je nekoliko varijacija osnovnog progresivnog radiosity algoritma da bi se našlo optimalno rješenje koje proizvodi što bolje rezultate sa minimalnom cijenom. Svaka varijanta računa form faktore sa tačke na jednoj površini na sve površine.

1. Gathering varijanta skuplja energiju svjetla sa svih drugih površina u okruženju, u skladu sa sračunatim form faktorima i ažurira “osnovnu” površinu. U ovoj varijanti “osnovna” površina je proizvoljno izabrana.
2. Shooting varijanta distribuira energiju svjetla sa “osnovne” površine na sve površine u okruženju, u skladu sa sračunatim form faktorima.
3. Shooting and sorting varijanta prvo računa površinu sa najvećim iznosom neemitovane energije svjetla, zatim koristi tu površinu kao “osnovnu” u shooting varijanti. Uz to inicijalni “ambijent” može se aproksimirati za okruženje i prilagoditi u svakoj iteraciji, postepeno se zamjenjujući sa pravim ambijentom renderovane slike.

Shooting i sorting metod je najpovoljniji jer nalazi površinu sa najvećim potencijalnim doprinosom intenzitetu i ažurira ostale površine u okruženju sa njenom energijom.



SLIKA 3.19. Varijacije progresivnog radiosity algoritma

Slika 3.19. pokazuje 4 varijacije osnovnog progresivnog radiosity algoritma, od kojih je svaka zaustavljena nakon 100 iteracija. Gornja lijeva slika je gathering varijanta, gornja desna shooting, donja lijeva je shooting and sorting i donja desna shooting, sorting i ambient.

Shooting varijante pokazuju svoju superiornost nad gathering varijantom. Shooting i sorting varijante se koncentrišu na površinama koje daju najveći doprinos ukupnom intenzitetu.

Dvoprolazni radiosity

Razvijeno je nekoliko važnih varijacija na difuzni radiosity algoritam. Prva je dizajnirana da olabavi ograničenje na isključivo difuznu prirodu radiosity-a, razbijanjem računanja intenziteta na dva koraka: prvi prolaz sa tradicionalnim radiosity algoritmom za računanje difuznog intenziteta površina i drugi prolaz sa ray tracing algoritmom, koji sakuplja informacije o difuznom intenzitetu površina i dodaje spekularnu informaciju. Drugi prolaz



SLIKA 3.20. Prolazak svjetla kroz medij

je zavisan od tačke pogleda: spekularni odsjaji površine zavise od lokacije svjetla i posmatrača relativno u odnosu na površinu.

Još jedna varijacija osnovnog difuznog radiosity algoritma dodaje doprinos svjetla koje prolazi kroz neki medij kao što je dim, magla ili vodena prašina u zraku. U ovom algoritmu svjetlosna energija se šalje kroz trodimenzionalni volumen koji predstavlja medij i mijenja iznos energije i potencijalno dodaje intenzitetu komponentu osvjjetljenja kroz taj medij.

Prednosti i mane radiosity metoda

Prednosti:

- fotorealistični kvalitet slike
- tačna simulacija transfera energije
- mekane sjene i difuzne međurefleksije

Mane:

- veliki zahtjevi za računanjem i smještanjem
- pretprocesiranje poligonalnih okruženja
- nije predstavljena nedifuzna komponenta svjetla

3.4. Monte Carlo tehnike globalnog osvjjetljenja

Monte Carlo tehnike rješavaju integrale kao što je jednačina renderinga koji nemaju analitičkog ili numeričkog rješenja. One to čine računanjem prosjeka slučajnih uzoraka na integrandu, sabirajući ih i uzimajući srednju vrijednost. Vizualni efekat ovog procesa na finalnoj izrendanoj slici je šum. Prednost Monte Carlo tehnika je da su lake za implementaciju jer su konceptualno jednostavne. Druga prednost je njihova generalnost. Ne moraju se raditi nikakve a priori simplifikacije (kao što su perfektni reflektori u ray tracingu ili perfektni difuzeri u radiositiju). Razlog za ovo je što one prave uzorke i geometrije scene i optičkih osobina površine. Problem kod Monte Carlo tehnika je brzina dobijanja tačne ili barem približne vrijednosti integrala [4].

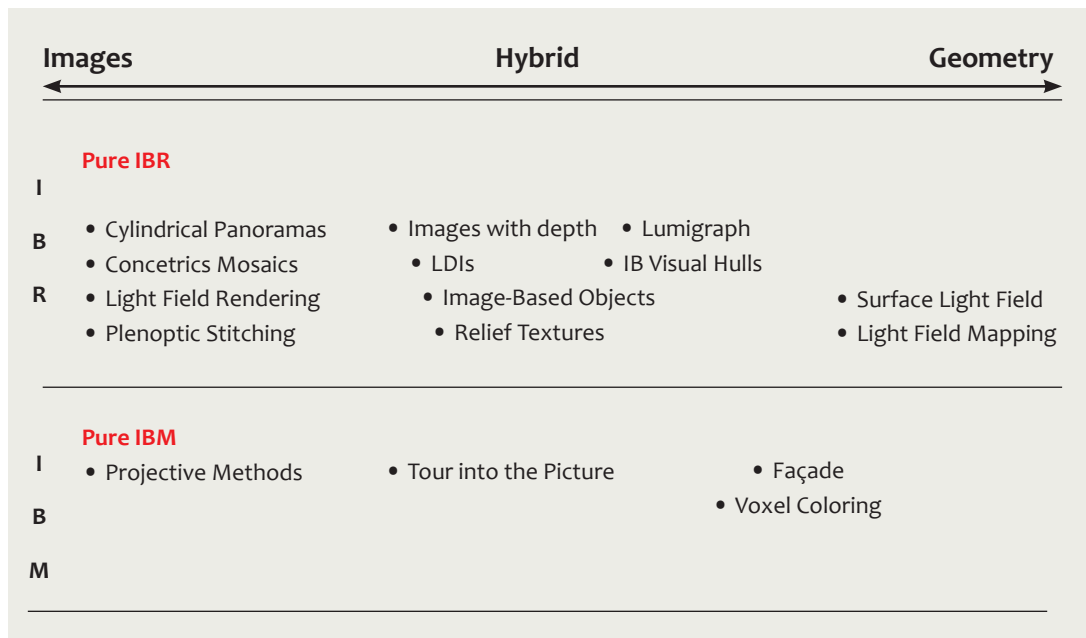
4

**Modeliranje i rendering
na bazi slika
(IBMR - Image Based
Modeling and Rendering)**

U posljednje vrijeme tehnike modeliranja i renderinga na bazi slika (Image Based Modeling and Rendering - IBMR) izazvale su značajnu pažnju u kompjuterskoj grafici zbog svog potencijala za kreiranje veoma realističnih slika. Jedna od glavnih prednosti ovih tehnika je mogućnost bilježenja suptilnih efekata realnog svijeta i detalja vezanih za nesavršenosti koje istraživači još uvijek ne znaju kako da modeliraju ili renderuju [10]. Koristeći slike kao modeling i rendering primitive, pristupi na bazi slika mogu pomoći rješavanju dva važna problema u kompjuterskoj grafici: potrebu za jednostavnijim tehnikama modeliranja pogodnim za predstavljanje kompleksnih scena i vječnu potrebu za ubrzanjem renderinga. Prvo može biti postignuto zamjenom geometrijskih modela reprezentacijama na bazi slika. Ubrzanja renderinga se postižu razdvajanjem vremena renderinga od kompleksnosti scene i resamplingom prethodno osjenčenih slika [9].

4.1. Čiste tehnike renderinga na bazi slika

Ove tehnike koriste samo slike intenziteta scena za rendanje novih pogleda. Primjerci okruženja se slikaju kao skupovi fotografija ili video sekvence i resampliraju tokom renderinga. U ovom slučaju nema potrebe za 3D modeliranjem i brzina rendanja ne zavisi od kompleksnosti scene. Rani primjer ovog pristupa, tzv. Movie maps, jer razvio Lipmann [11]. U ovom pionirskom radu baza podataka slika ulica grada, uslikanih u periodičnim intervalima, smještena je na video disku. Vožnja kroz ulice se može simulirati plejanjem, pod kontrolisanim brojem, individualnih frejmova sa tačaka pogleda blizu tekuće pozicije virtuelnog vozača. U zadnjim godinama uvedeno je nekoliko pristupa koji se baziraju ekskluzivno na resampliranju slike.

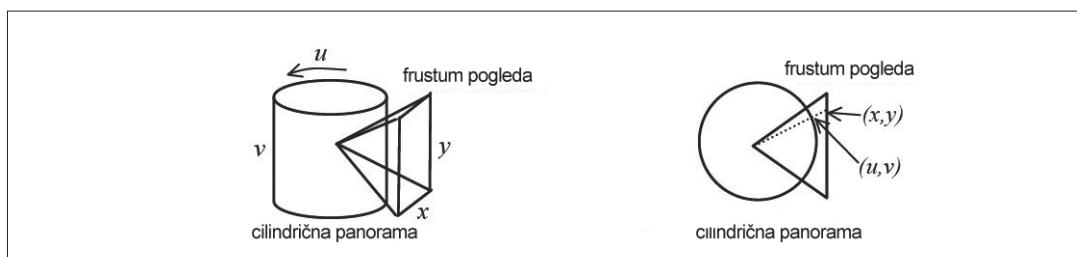


SLIKA 4.1. Metode IBM i IBR u odnosu na spektar slika-geometrija

4.1.1. Cilindrične panorame

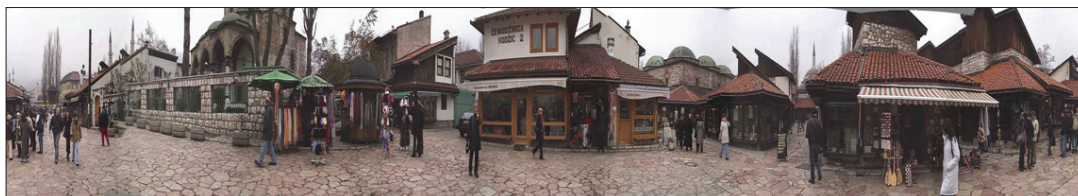
Cilindrične panorame ili cilindrične mape okruženja koriste se da omoguće nezavisnost horizontalne orijentacije prilikom pregledanja okruženja sa jedne tačke. Izbor ovih panorama je opravdan mogućnošću bilježenja takvih slika i njihovom osobinom da se mapa krivi samo u jednom pravcu što pojednostavljuje rekonstrukciju novih pogleda. Ovakve panorame se mogu kreirati korištenjem specijalizovanih panoramskih kamera, spajanjem fotografija sa običnih kamera ili renderingom kompjuterskog okruženja. Quicktime VR, razvijen od strane Apple Computers podržava rendanje cilindričnih panorama i bio je prvi komercijalni proizvod koji je koristio image based tehnologiju [12].

Nakon QuickTime VR-a, implementirano je nekoliko viewer-a za rendering cilindričnih panorama. Ovi vieweri podržavaju kontinuirano horizontalno kretanje i zum. Kretanje u vertikalnom pravcu je ograničeno vertikalnim poljem pogleda cilindričnih panorama (obično 50 stepeni). Tokom kretanja vidljivi dio panorame je ispravljen da bi proizveo korektnu planarnu perspektivu. Slika 4.2. pokazuje skicu cilindrične panorame sa pridruženim frustumom pogleda i ilustrira osnovnu geometriju algoritma ispravljanja [13].



SLIKA 4.2. Lijevo: cilindrična panorama i frustum pogleda, desno: geometrija algoritma ispravljanja (pogled odozgo)

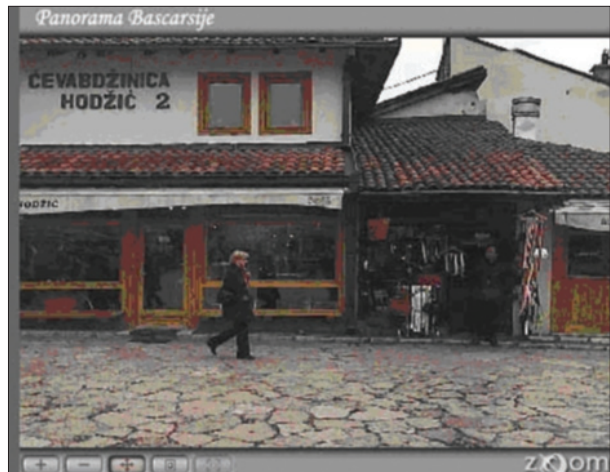
Ispravljanje se može implementirati pomoću inverzne formulacije slične onoj koja se koristi za mapiranje tekstura [14]. Slika 4.3. pokazuje cilindričnu panoramu Bašćaršije, dok slika 4.4 pokazuje planarnu reprojekciju dobijenu ispravljanjem dijela slike 4.3. Antialiasing je implementiran pomoću usrednjavanja susjednih pixela u panorami. Da bi se poboljšale performanse, antialiasing se može zanemariti tokom kretanja po panorami. Vertikalno kretanje je implementirano kroz dva koraka: prvo se vidljivi dio panorame mapira na ravan paralelnu osi cilindra pomoću tehnike ispravljanja, a zatim se rezultujuća slika mapira na željenu ravan slike pomoću transformacije ravne projekcije. Tokom vertikalnog kretanja slika se podvrgava dvostrukom resampliranju, koje može ugroziti kvalitet finalne slike.



SLIKA 4.3. Panorama Bašćaršije iz projekta Virtuelno Sarajevo

Zumiranje se implementira promjenom polja pogleda u frustumu (Slika 4.2. lijevo). Da bi se prikazalo više detalja prilikom zumiranja i izbjegao aliasing kod odzumavanja, koristi se piramidalna struktura za interpolaciju između odgovarajućih nivoa rezolucije [15], slično upotrebi mip-map piramide [16].

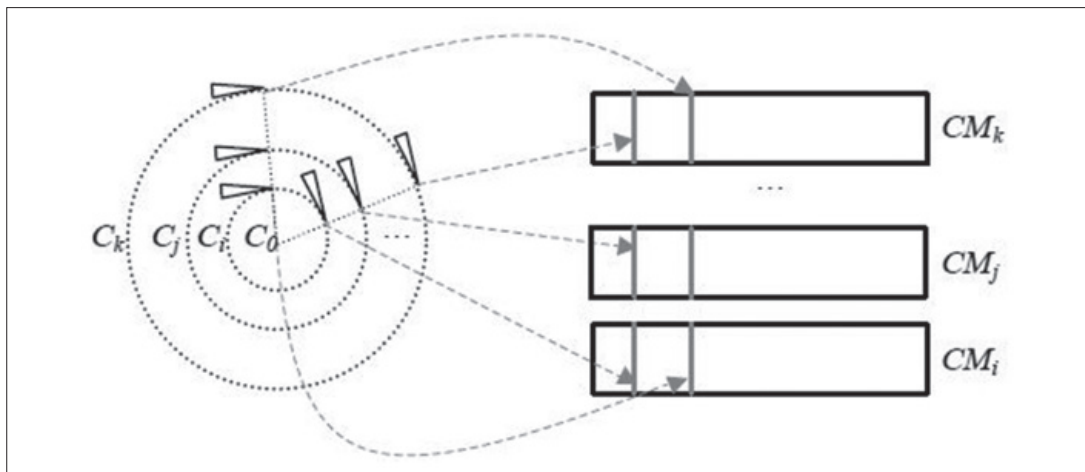
Glavno ograničenje sistema baziranih na mapama okruženja (cilindričnim, sferičnim ili kubičnim) je ograničenje korisnika na jednu lokaciju kao tačku pogleda odakle se prikazuju slike. Iako se korisnik može rotirati oko te tačke, on/ona se ne može kretati, jer translacija uvodi promjene u vidljivosti. Kao rezultat, upotreba mapa okruženja nije pogodna za šetnje po virtualnim okruženjima.



SLIKA 4.4. Dio panorame dobijen planarnom reprojekcijom

4.1.2. Koncentrični mozaici

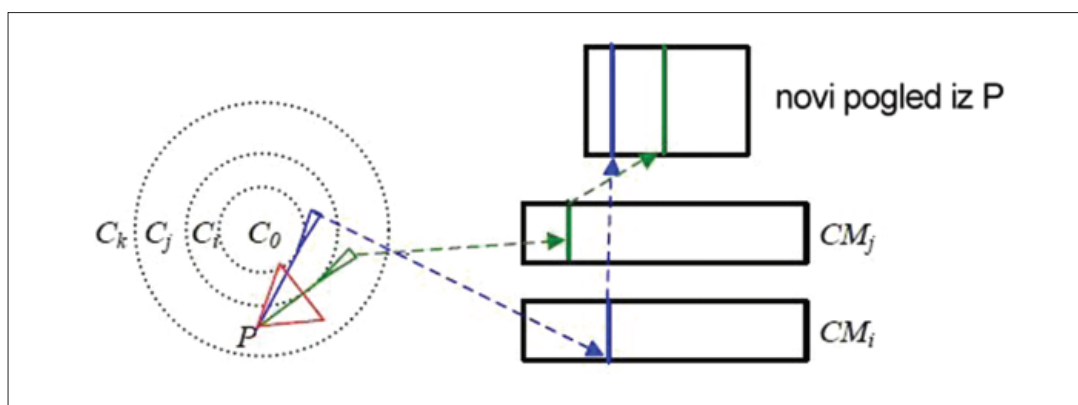
Koncentrični mozaici su generalizacija cilindričnih panorama koja omogućava korisniku da istražuje kružni region i iskusiti horizontalnu paralaksu i svjetlosne efekte [17]. U ovom slučaju, umjesto korištenja jedne cilindrične slike, slit kamere (kamere koje bilježe samo jednu vertikalnu kolonu pixela u svakom frejmu) se rotiraju oko planarnih koncentričnih krugova. Serija koncentričnih mozaika [18] je kreirana komponovanjem slit slika sa svake kamere duž njihovih kružnih puteva [17] (Slika 4.5.).



SLIKA 4.5. Koncentrični mozaici

Sada je cilindrična panorama ekvivalentna jednom mozaiku za koji osa rotacije prolazi kroz centar projekcije kamere, kao što je slučaj sa kamerom C_0 na slici 4.5. U skupu koncentričnih mozaika sve slit slike dodijeljene određenoj koloni su uslikane pod istim uglom. Upotreba slit slika značajno reducira količinu podataka koji su potrebni da se aproksimira plenoptička funkcija [19] u poređenju sa drugim IBR pristupima.

Tokom vremena renderinga, korisnik može da se pomjera unutar fizičkog kružnog regiona pokrivenog mozaicima. Proces renderinga je ilustriran na slici 4.6. za željenu tačku pogleda P . Novi pogledi se kreiraju komponovanjem slit slika u pravcu željenog frustum. Primijetimo da ova procedura implicitno pretpostavlja da su sve površine beskonačno daleko. Kako ova pretpostavka nije zadovoljena u većini slučajeva, algoritam uvodi vertikalne distorzije u izrendanim slikama. Postoje određene strategije za minimiziranje ovih distorzija. Drugo ograničenje koncentričnih mozaika je nedostatak vertikalne paralakse, zato što se svi originalni pogledi dobijaju iz horizontalnog planarnog regiona. Međutim, čini se da je sama horizontalna paralaksa dovoljna da bi se stekao utisak 3D percepcije, vjerovatno zbog činjenice da su naše oči na relativno konstantnom nivou dok hodamo.

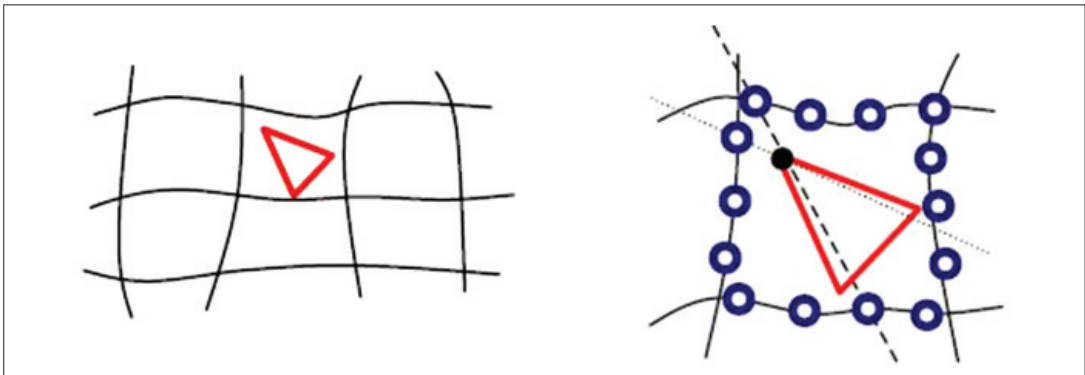


SLIKA 4.6. Rendering koncentričnih mozaika. Za datu tačku pogleda P , novi pogled se kreira komponovanjem slit slika koje su snimile kamere C_l , $l = 0..k$, sa uglovima u kojima je linija kroz P tangenta na krug definisan sa C_l .

Kako radijalna udaljenost između dva susjedna kruga raste, broj slit slika za rekonstrukciju novog pogleda se reducira, zahtijevajući više interpolacije originalnih podataka da bi se ravan slike ispunila novim pogledom (slika 4.6.). U praksi, dobivanje gustih koncentričnih samplova radi se upotrebom regularne kamere koja se pomjera po kružnom putu. U ovom slučaju, kamera može biti okrenuta ili tangentno ili upravno u odnosu na kružni put. Dobijene slike se koriste za rekonstrukciju višestrukih koncentričnih mozaika kroz resampliranje. Kada se koristi ova strategija, region koji korisnik može istraživati je određen horizontalnim poljem pogleda kamere [17].

4.1.3. Plenoptičko spajanje

Plenoptičko spajanje je pametna tehnika koja daje korisniku mogućnost šetnje kroz okruženja bilo kojih dimenzija i oblika. Da bi se omogućilo odgovarajuće sampliranje svih tačaka pogleda u okruženju, omnidirekionalna video kamera (kamera sa poljem pogleda 360 stepeni) se pomjera po mreži [20]. Pozicija i orijentacija kamere se prati duž ovih puteva i smješta sinhrono odgovarajućim video frejmovima. Presjeci više puteva definišu petlje slika (image loops) (slika 4.7.). Svaka petlja je segmentirana kao dio pretprocesinga. Tokom šetnje, petlja slika koja sadrži tekuću tačku pogleda se koristi za rekonstrukciju željenog pogleda. Slika 4.7. lijevo pokazuje šematski prikaz mreže koja se koristi za istraživanje određenog okruženja. Svaki segment linije predstavlja individualni put. Grupe segmenata koje ograničavaju zatvoreni dio okruženja definišu petlju slika. Trougao pokazuje poziciju kamere i polje pogleda.



SLIKA 4.7. Lijevo: mreža koju prati omnidirekionalna kamera tokom sampliranja okruženja. Desno: zum u petlju slika koja sadrži kameru. Mali krugovi predstavljaju lokacije sampliranja

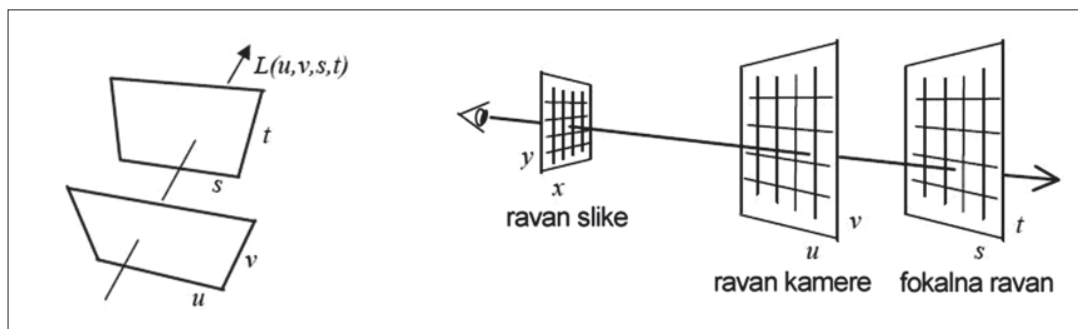
Novi pogledi se konstruišu iskrivljenjem i komponovanjem stubova pixela dobijenih iz omnidirekcionalnih slika lociranih ispred i iza tekuće tačke pogleda. Ako takva ravan ne prolazi kroz centar projekcije nijedne omnidirekcionalne kamere (npr. istačkana linija na slici 4.7. desno), kolor informacija se interpolira sa dvije najbliže slike.

Omnidirekcionalne slike se slikaju na nivu oka, sprječavajući vertikalnu paralaksu. Međutim, razumna kombinacija feature tracking-a i slika koje su uslikane ispred i iza željene tačke pogleda dozvoljava da se iskrive resampirane kolone, izbjegavajući neželjene vertikalne distorzije koje se pojavljuju kod koncentričnih mozaika.

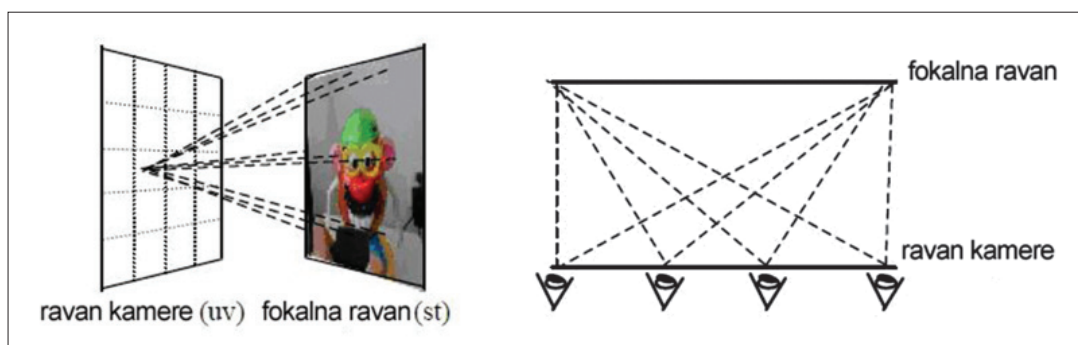
Omnidirekcionalne kamere koriste neku vrstu konveksnog ogledala montiranog ispred objektivu da bi mogle fokusirati polje pogleda od 360 stepeni na svaki frejm video sekvence. Ovo ima neke praktične implikacije. Npr, svaki frejm sadrži veliki broj informacija reducirajući prostornu rezoluciju na kojoj se scena samplira na svakoj sampling poziciji, što rezultira neželjenim blurum. Geometrija ogledala uzrokuje nejednaku rezoluciju duž vertikalnog polja pogleda. Također, korisnik nema pregled okruženja iznad linije horizonta koja je definisana ivicom ogledala. Upotreba dvije omnidirekcionalne kamere može dovesti do pokrivanja cijelog polja pogleda, ali registrovanje slika sa dva različita centra projekcije zahtijeva dodatnu obradu.

4.3.4. Svjetlosno polje i lumigraf

Svjetlosno polje je funkcija koja opisuje, za bilo koju zadatu tačku, zračenje koje postoji u određenom pravcu u slobodnom prostoru [21] (ovo je ekvivalentno definiciji plenoptičke funkcije). Rendering svjetlosnog polja i lumigrafa [22] kreiraju nove poglede na scene ili objekte resampliranjem baze podataka slika koje predstavljaju diskretne uzorke plenoptičke funkcije. U ovoj reprezentaciji, zraka je parametrizirana pomoću svojih presjeka sa dvije paralelne ravni, strukturom koja se zove “light slab” i prikazana je na slici 4.8. Da bi se kreirala baza podataka slika, koristi se regularni ortogonalni lattice za definisanje pozicija kamere. Taj lattice je pridružen u ravni koja se još zove ravan kamere. Na svakoj poziciji lattice pravi se slika koristeći st ravan kao ravan slike (slika 4.9.). Kako su pozicije obje ravni fiksne, polje pogleda postaje progresivno uvijeno kako se kamera pomiče iz centra ravni kamere prema njenim granicama (slika 4.9.).



SLIKA 4.8. Lijevo: Light slab. Zraka svjetla je parametrizirana po svojim presjecima sa dvije paralelne ravni. Desno: Geometrijska reprezentacija resampliranja baze podataka slika



SLIKA 4.9. Lijevo: svaki element mreže u ravni kamere odgovara jednoj slici. Desno: kako se tačka pogleda pomiče iz centra prema granicama ravni kamere, frustum pogleda postaje progresivno uvijen [21]

Konceptualno, rendering novih pogleda je prikazan na slici 4.8. desno. Za svaki piksel novog pogleda računa se presjek odgovarajuće zrake pogleda sa ravni kamere i fokalnom ravni. Koordinate (u, v) presjeka se koriste za izbor slike ili slika za resampliranje, a (s, t) koordinate presjeka se koriste za izbor odgovarajućeg piksela iz izabrane slike. Strategija resampliranja varira od

najbližeg susjeda do kvadrilnearne interpolacije. Primijetimo sa geometrije na slici 4.8. desno da su transformacije koordinata sa ravni slike na ravan kamere i fokalnu ravan transformacije ravne projekcije i zato mogu biti efikasno implementirane pomoću texture hardvera. Slika 4.10. pokazuje sliku izrendanu pomoću pristupa svjetlosnog polja [21].

Gledajući objekat sa više tačaka pogleda, rendering pomoću svjetlosnog polja i lumigrafa može prikazati efekte koji zavise od tačke pogleda, kao što su odsjaji. Međutim, veliki broj slika koji je neophodan da bi se izbjeglo pretjerano bluriranje (zbog interpolacije kod resampliranja) značajno povećava zahtjeve za memorijom u poređenju sa drugim IBR tehnikama. Kod Lumigraf sistema, tokom renderinga se može koristiti aproksimativna geometrija da bi se izvršila korekcija dubine, reducirajući količinu blura u finalnim slikama. Svjetlosna polja i lumigraf nisu pogodni za prikazivanje pogleda iz unutrašnjosti prema vanjskom dijelu okruženja.

Iako originalni koncepti svjetlosnog polja i lumigrafa pretpostavljaju fiksno osvjetljenje scene, mogu se postići interaktivne promjene osvjetljenja uzimajući i procesirajući slike pod drugačijim svjetlosnim uslovima.



SLIKA 4.10. Stanfordski zmaj, sigle slab, 32 x 32 x 256 x 265 svjetlosno polje [23]

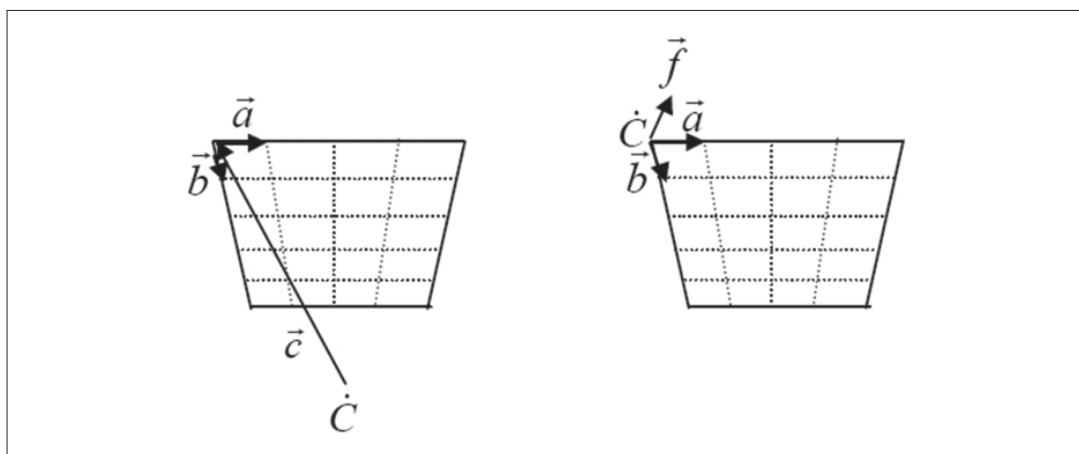
4.2. Hibridne tehnike renderinga na bazi slika

Hibridne IBR tehnike uz slike koriste i određene geometrijske informacije da bi sintetizirale poglede na scenu. Količina geometrijskih informacija varira od dubine po pikselu, koja se koristi kod **image warping**-a, do prilično detaljnih pologonalnih mesheva koje koristi **light field mapping**. Ove tehnike su najbrojnije u IBR pristupima. U ovom poglavlju daćemo samo pregled ovih tehnika, bez njihovog detaljnog razmatranja.

Slike sa dubinom (range images) se koriste kod velikog broja IBR tehnika, kao što su image warping [24], post-rendering warping [25], layered depth images [26], image based objects [27], LDI trees [28] i relief texture mapping [29].

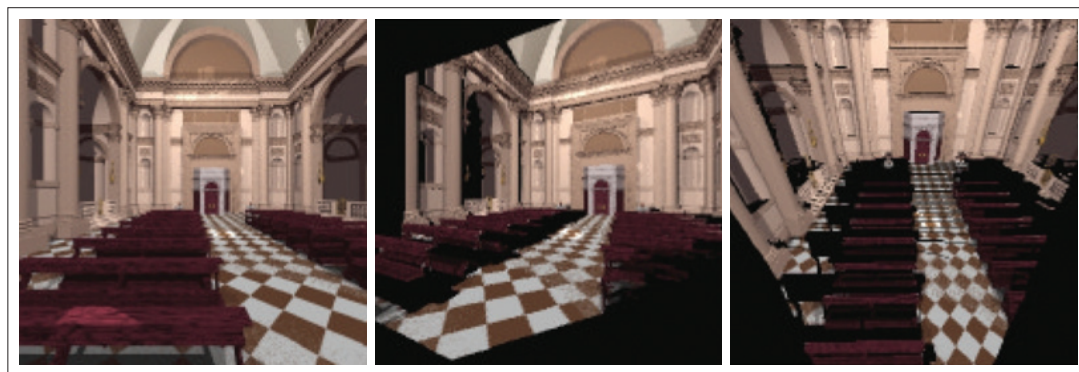
Slika sa dubinom je par $\{i_d, K\}$, gdje je i_d digitalna slika a K je model kamere pridružen i_d . Svaki element prostora boje slike i_d je uvećan da uključi skalarnu vrijednost po pikselu koja predstavlja udaljenost, u Euklidovom prostoru, između samplirane tačke i referentnog entiteta. Ako je K model kamere sa perspektivnom projekcijom, slika se zove *perspective projection image with depth* i referentni entitet je K -ov centar projekcije. Kada je K model kamere sa paralelnom projekcijom, slika se zove *parallel projection image with depth* i referentni entitet je K -ova ravan slike. U slici sa dubinom, geometrijski sadržaj scene se predstavlja implicitno kombiniranjem informacije o dubini po pikselu i modela kamere koji je pridružen slici.

Slika 4.11. lijevo prikazuje model kamere sa perspektivnom projekcijom. Vektori a i b formiraju osnovu ravni slike. Dužine ovih vektora respektivno su horizontalni i vertikalni razmak uzoraka u Euklidovom prostoru. c je centar projekcije kamere (COP), a c je vektor iz COP prema koordinatnom početku ravni slike [24]. Slika 4.11. desno opisuje model za kameru sa paralelnom projekcijom. Vektori a i b su definisani isto kao u perspektivnom slučaju. Vektor f je jedinični vektor okomit na ravan koju čine a i b [29]. Repovi ovih vektora su u C , koordinatnom početku ravni slike.



SLIKA 4.11. Lijevo: Model kamere sa perspektivnom projekcijom, desno: Model kamere sa paralelnom projekcijom

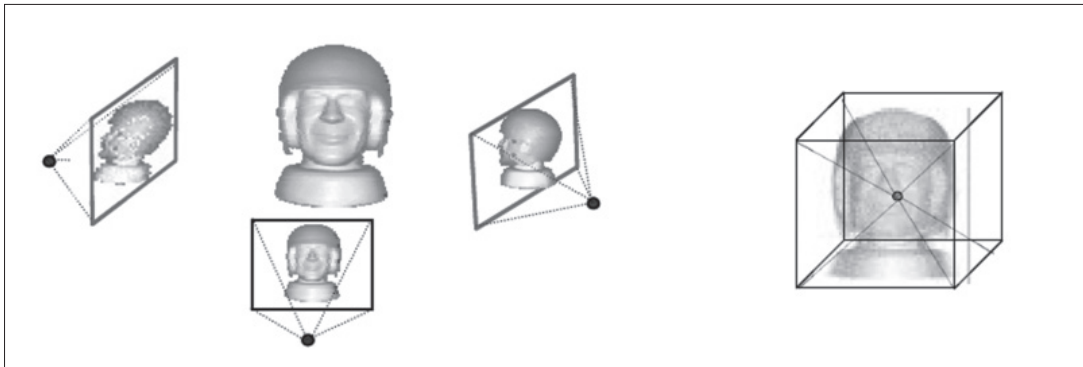
3D image warping je geometrijska transformacija koja mapira izvornu sliku sa određenom dubinom na odgovarajući ciljni pogled [24].



SLIKA 4.12. Slike sa dubinom: pogled na model katedrale (lijevo). Novi pogledi dobijeni 3D image warpingom (u sredini i desno)

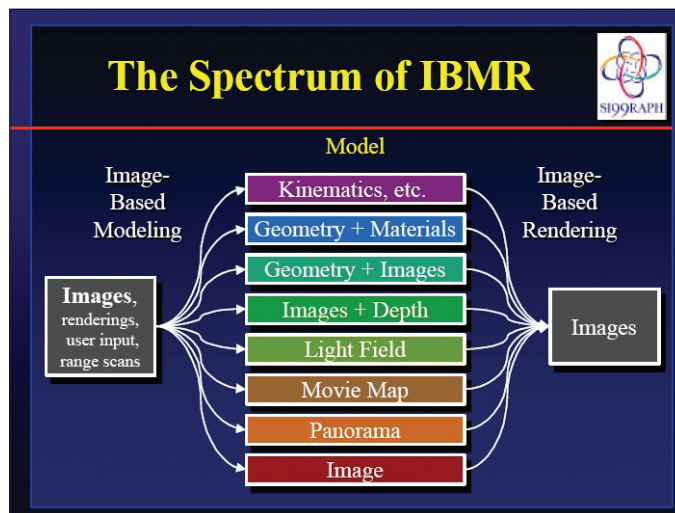
Layered depth images (LDI) su slike sa dubinom koja podržava višestruke sampleve (informacije o boji i dubini) po zruci sampliranja. O ovom slučaju svaki element slike se sastoji od uređene liste sampleva.

Dok slike sa dubinom i LDI mogu da proizvedu korektnu reproprojkciju površina koje predstavljaju, sampliranje cijele površine 3D objekta zahtijeva poglede sa nekoliko tačaka, **Image based objects (IBO)** omogućavaju kompaktnu reprezentaciju 3D objekta na bazi slika. Objekat je konstruisan pomoću više tačaka pogleda koje su resamplirane iz jednog centra projekcije na strane paralelepipeda (slika 4.13.). Slijedi da je svaki IBO predstavljen pomoću 6 LDI. Na ovaj način se lako implementira warper za pregled objekta.



SLIKA 4.13. Lijevo: objekat sampliran sa više centara projekcije. Desno: samplovi su reprojektovani na okomite ravni slike (stranice kocke) koje dijele isti centar projekcije

Paul Debevec [30] je prikazao tehnike za modeliranje i rendering na bazi slika pomoću sljedeće šeme (slika 4.14. [31]).



SLIKA 4.14. Pregled IBMR tehnika

Modeliranje i rendering na bazi slika se zasniva na unaprjeđenju procesa fotografisanja, brzini prikaza tih fotografija i njihovoj snazi komunikacije i prevazilaženja njihovih ograničenja. Razne forme IBMR-a nude određeni oblik reprezentacije scene na bazi fotografija i korištenje te reprezentacije za procesa renderinga. Glavna prednost ovih pristupa je što ne zahtijeva tradicionalno modeliranje kompletne scene. Za uklanjanje ograničenja mogućnosti pogleda u različitim pravcima, možemo fotografisati scenu u svim pravcima, spojiti fotografije u panoramu i onda omogućiti korisniku da prikazuje različite dijelove panorame. Da bismo prevazišli ograničenje na kretanje u svim pravcima, možemo uslikati mnogo slika scene sa raznih lokacija i onda prikazivati različite slike u zavisnosti kuda korisnik želi da ide. Da bismo reducirali broj slika koje su potrebne, možemo

izvesti geometrijske reprezentacije scene kroz korespondenciju slika, interaktivnu fotogrametriju ili active sensing i onda renderovati tu geometriju sa željene tačke pogleda u bojama koje su projektovane sa originalnih fotografija. Što su savršenije tehnike za izvođenje tih reprezentacija, manja su ograničenja ovih pristupa [31].

4.3. Modeliranje na bazi slika

Jedan od prvih pokušaja kreiranja modela na bazi fotografija je model unutrašnjosti Bazilike sv. Petra, koji je napravljen pomoću Facade sistema. Ovaj sistem koristi nelinearnu optimizaciju za rekonstrukciju 3D modela sa teksturama sa fotografija [30, 32]. Za dati skup kalibriranih fotografija korisnik kreira aproksimativni parametrizirani model pomoću jednostavnih 3D primitiva i uspostavlja korespondenciju između ivica modela u 3D i odgovarajućih ivica na fotografijama. Ovo se postiže automatskim prilagođavanjem parametara modela i pozicija i orijentacija kamere. Da bi se unaprijedila konvergencija, sistem koristi inicijalizaciju u dva koraka. Prvi korak pretpostavlja rotaciju kamere, a drugi translaciju kamere i parametre modela. Teksture koje su isječene sa originalnih fotografija se mapiraju na rezultujući model (slika 4.15).



SLIKA 4.15. Model Bazilike sv Petra, Paul Debevec

Iz Facade modeling sistema nastao je softver Image Modeler. Sa modelom Bazilike napravljen je film FiatLux [33], čiji je rendering vršen sa Radiance softverom (global illumination simulation sistem). U film su dodati i kompjuterski generisani elementi, a fotografije su imale visoki dinamički opseg (High Dynamic Range HDR), što znači da su sadržavale informacije o bojama koje ljudsko oko vidi, ali ih još uvijek ne mogu prikazati standardni kompjuterski displeji.

4.3.1. Fotogrametrija

Jedna od efikasnih tehnika za modeliranje na bazi slika je fotogrametrija. To je tehnika mjerenja 2D ili 3D objekata iz foto-grama [34]. Foto-gram može biti fotografija ili slika sa sa trake ili diska video ili CCD kamera ili skenera. Rezultati mogu biti koordinate tačaka na objektu, topografske ili tematske mape ili prečišćene fotografije – ortophoto. Ortophoto je fotografija bez distorzije, kao mapa. Ova tehnika se često zove i remote sensing jer se objekti mjere bez dodira.

Fotogrametrija se može podijeliti prema postavci objektiva na far range (udaljenost postavljena na beskonačno) i close range (konačne vrijednosti udaljenosti). Druga podjela je na aerial fotogrametriju (uglavnom far range) i terrestrial fotogrametriju (uglavnom close range).

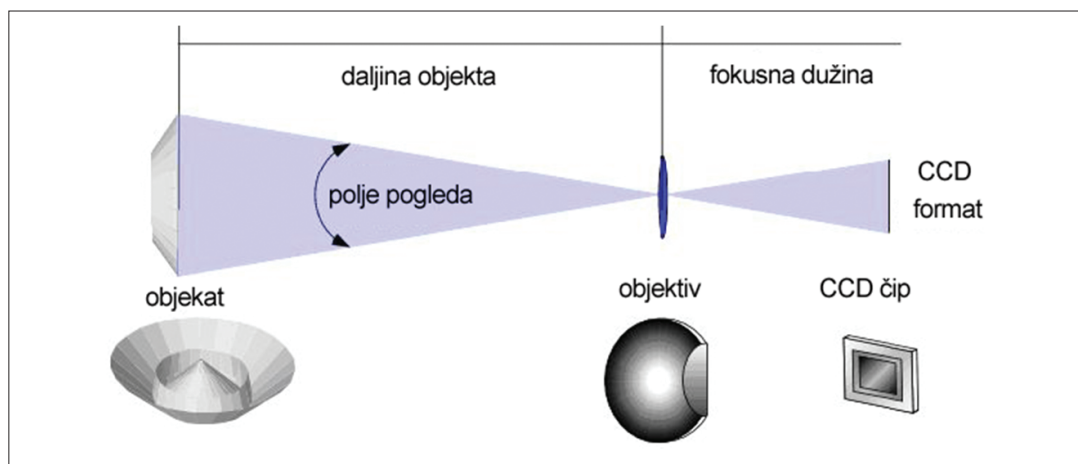
Fotogrametrija se primjenjuje u proizvodnji mapa i digitalnih modela terena, u arhitekturi i građevinarstvu, arheologiji, plastičnoj hirurgiji i u kriminologiji (npr. za dokumentiranje mjesta nesreće).

U istoriji fotogrametrije važni su sljedeći ključni momenti:

- 1851: samo dekadu nakon izuma “dagerotipije” francuski oficir Aime Laussedat razvija prvi fotogrametrijski uređaj i metod;
- 1858: njemački arhitekt A. Meydenbauer razvija fotogrametrijske tehnike za dokumentaciju zgrada i osniva prvi fotogrametrijski institut;
- 1866: bečki fizičar Ernst Mach objavljuje ideju za korištenje stereoskopa za program volumetrijskih mjera;
- 1885: ruševine Persepolisa – prvi arheološki objekat snimljen fotogrametrijski
- 1889: C. Koppe objavljuje prvi njemački priručnik za fotogrametriju
- 1896: Eduard Gaston i Daniel Deville predstavljaju prvi stereoskopski instrument za vektorsko mapiranje
- 1897/98: Theodor Scheimpflug izumio duplu projekciju
- 1901: Pulfrich – prvi stereokomparator
- 1903: Scheimpflug - perspektograf
- 1910: osnovan ISP (International Society for Photogrammetry)
- 1911: Scheimpflug otkriva kako kreirati prečišćene fotografije
- 1913: prvi kongres ISP u Beču
- do 1945: razvoj metričkih kamera i analognih plotera
- 1964: Carl Zeiss, Oberkochen, Foramitti rade prve arhitektonske probe sa novim stereometrijskim sistemom kamera
- 1964: Charte de Venice
- 1968: prvi simpozij o primjeni fotogrametrije na istorijske spomenike održan u Parizu
- 1970: osnivanje CIPA (medjunarodni komitet za fotogrametriju u arhitekturi)
- 1970-te: analitički ploteri prave revoluciju u fotogrametriji
- 1980-te: pojava digitalne fotogrametrije
- 1996: 83 godine nakon prve konferencije, ISPRS je opet u Beču

Fotografski uređaji

Fotografska slika ima “centralnu perspektivu”. Svaka zraka svjetla koja je došla do filma tokom ekspozicije je prošla kroz objektiv kamere (sočivo). Sočivo matematički ima jednu tačku koja se zove centar perspektive. Da bi se uzela mjerenja sa fotografija potrebno je rekonstruisati snop zraka koje prolaze kroz tu tačku (slika 4.16.).



SLIKA 4.16. Struktura fotografskog aparata

Za to mora biti precizno poznata geometrija kamere (fokalna dužina, pozicija glavne tačke – centar sočiva, distorzija sočiva) i fokusna dužina – principal distance – udaljenost centra projekcije od centra ravni slike (image plane). Prema ovim karakteristikama kamere se dijele na metričke, stereometričke i amaterske.

Metričke kamere su skupe, ali im je stabilna i precizno poznata interna geometrija. Imaju malu distorziju sočiva. Slika se ne može se izoštravati tokom slikanja. Postoje aerial metričke kamere koje su montirane na avione.

Stereometričke kamere se mogu predstaviti kao 2 metričke kamere montirane na krajeve motke precizne dužine (40 ili 120 cm). Preklapajuće područje dvije fotografije može se vidjeti u 3D. Ovo je slično ljudskom sistemu vida.

Amaterske kamere imaju nepoznatu i nestabilnu internu geometriju, ali se mogu kalibrirati.

Zavisno od raspoloživog materijala, vrsta kamere, stereopara, oblika objekta koji se snima, kontrolne informacije, zahtijevanih rezultata (2D ili 3D) i preciznosti primjenjuju se različite tehnike fotogrametrije. One se prema broju fotografija dijele na mapiranje sa jedne fotografije, stereofotogrametriju i mapiranje sa nekoliko fotografija.

Mapiranje sa jedne fotografije koristi se samo za ravne (2D) objekte. Fotografije objekta sadrže perspektivne deformacije koje se trebaju iščistiti. Tehnike čišćenja su metod papirne trake, optička rektifikacija, numerička rektifikacija, monoploting i digitalna rektifikacija.

Kod stereofotogrametrije stereoparovi se proizvode korištenjem stereometrijskih kamera. Preklapajući dio se mapira u 3D pomoću analognog metoda. To je obrnuta procedura od snimanja gdje 2 projektora projektuju negative stereopara, a presječne tačke se mehanički prenose na crtač. Drugi metod je analitički metod, gdje kompjuter upravlja odnosom između slike i koordinata

realnog objekta. Postoji i digitalni metod, tj. rad sa vrijednostima pozicije i vrijednosti intenziteta pixela.

Mapiranje sa više fotografija je moguće samo u analitičkoj i digitalnoj fotogrametriji. Jedna tačka objekta treba da se vidi na najmanje 2, još bolje 3 fotografije. Može se slikati sa bilo kojom kamerom. Prvo se rekonstruiše snop a onda se pomoću kontrolnih i triangulacijskih tačaka rekonstruiše geometrija objekta sa visokom preciznošću.

Proces fotogrametrije

Fotogrametrija je tehnika mjerenja 3D koordinata koja koristi fotografije kao osnovni medij za mjerenje. Osnovni princip je triangulacija. Fotografisanjem sa bar dvije različite lokacije mogu se kreirati tzv. "linije pogleda" ili zrake sa svake kamere na tačke objekta. Na ovaj način radi i ljudski sistem vida kreirajući dubinsku percepciju sa 2 različite tačke pogleda.

1) fotografija

Tri glavne komponente kod dobre fotografije su polje pogleda, fokusiranje i ekspozicija.

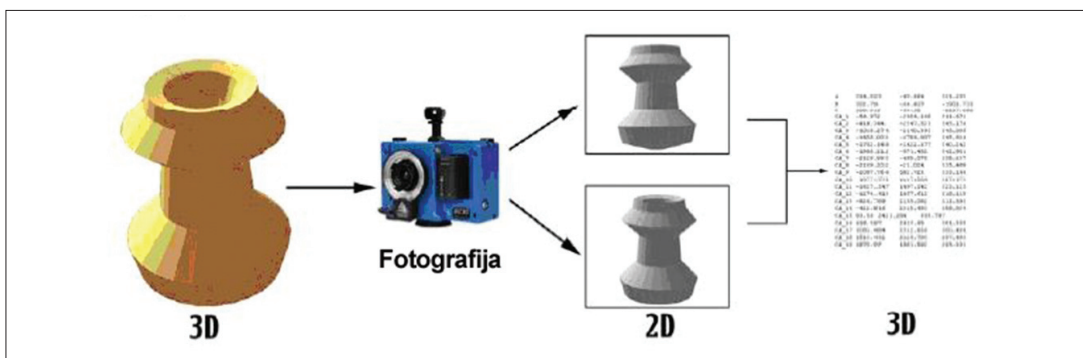
Polje pogleda (field of view) obuhvata sve što se vidi kroz kameru (slika 4.16.). Ono je funkcija fokalne dužine objektivu i veličine (formata) digitalnog senzora. Širi objektivu traže manje prostora oko objekta, ali su i manje precizni. Zato je bolje koristiti što veće fokalne dužine.

Kod fokusiranja slika mora biti dovoljno oštra. Opseg prihvatljivih oštrina zove se dubina fokusa. Dubina fokusa je funkcija od fokalne dužine objektivu, formata, udaljenosti kamere od objekta i f-broja sočiva.

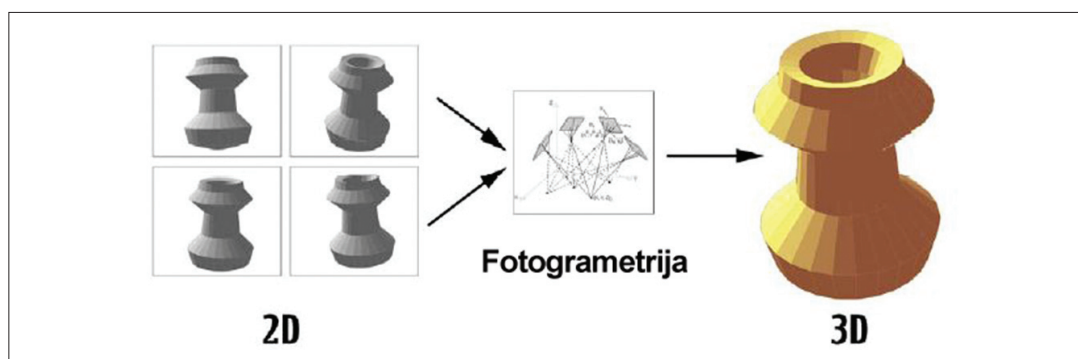
Ekspozicija: u fotogrametriji je poželjno da objekat bude svijetao, a pozadina zatamnjena. Zato se koristi target i background ekspozicija. Target ekspozicija je određena snagom fleša, a background ekspozicija se kontroliše vremenom shuttera. Ona može biti i na AutoExposure.

2) Metrologija

Fotografija je u najširem smislu proces koji konvertuje realni 3D svijet u 2D sliku. Kamera vrši taj proces pri tome gubeći informaciju o dubini. Fotogrametrija obrće ovaj proces tako što konvertuje 2D sliku nazad u 3D svijet.



SLIKA 4.17. Fotografija



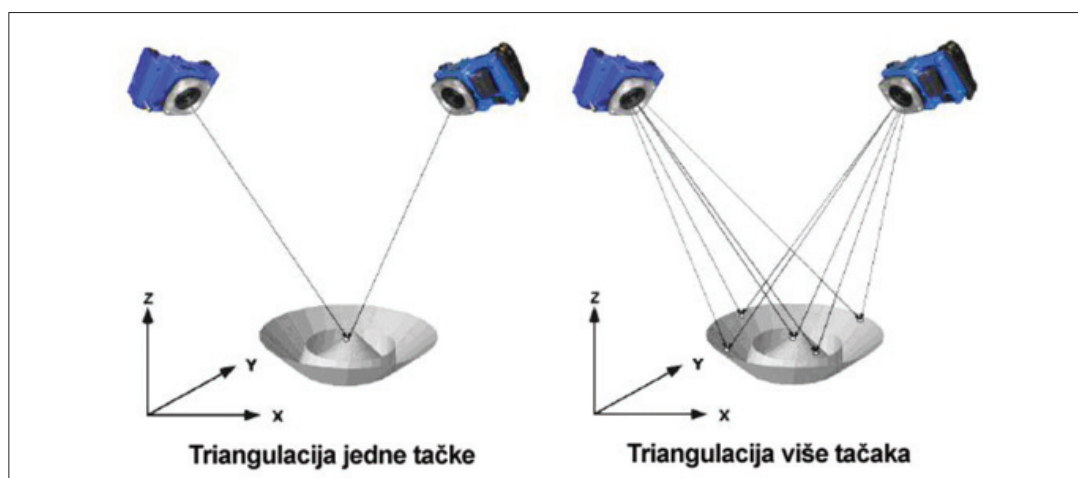
SLIKA 4.18. Fotogrametrija

3D koordinate objekta koje se dobiju kao rezultat mjerenja više fotografija su krajnji rezultat fotogrametrije. Fotogrametrija koristi osnovni princip triangulacije gdje se linije koje se presijecaju u prostoru koriste za računanje 3D koordinata tačke. Za ovo moramo znati poziciju kamere i ugao pod kojim se slika (orijentaciju) za sve fotografije iz skupa što određuje proces **resekcije**.

Prije ovog postupka vrši se kalibracija kamere. Procesi triangulacije i resekcije se odvijaju istovremeno u okviru podešavanja snopa.

3) Podešavanje snopa

U procesu triangulacije precizna lokacija tačke se određuje matematičkim presjekom konvergentnih linija u prostoru. Fotogrametrija može raditi simultanu triangulaciju više tačaka istovremeno.



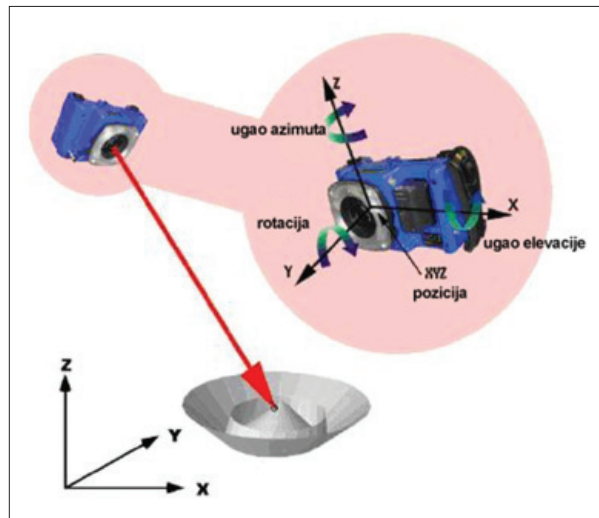
SLIKA 4.19. Triangulacija jedne ili više tačaka

U slučaju teodolita (instrument za mjerenje horizontalnih i vertikalnih uglova) mjere se dva ugla koji generišu linije iz svakog teodolita. Kod fotogrametrije mjeri se 2D (x, y) lokacija na ciljnoj tački slike da se dobije linija. Ako se slika sa najmanje dvije lokacije i mjeri ista ciljna tačka na svakoj slici, može se izvesti “linija pogleda” sa lokacije svake kamere prema ciljnoj tački. Ako su poznati

položaj i lokacija kamere (resekcija), linije se mogu matematički presijecati i proizvesti XYZ koordinate za svaku ciljnu tačku.

Resekcija je procedura koja određuje finalnu orijentaciju kamere u momentu kada slika fotografiju. Ako su poznate XYZ koordinate tačaka na objektu (triangulacija) možemo sračunati orijentaciju kamere.

U sklopu kalibracije kamere vrši se određivanje fokalne dužine i distorzije sočiva. To se radi uz pomoć mreže za kalibraciju. Obično se pravi 6 do 12 portrait i landscape fotografija (slika 4.21.).



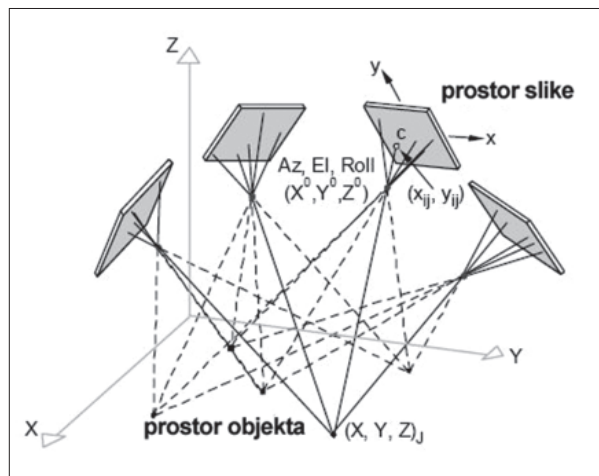
SLIKA 4.20. Resekcija



SLIKA 4.21. Kalibracija kamere

Podešavanje snopa je procesiranje fotografskih mjerenja u cilju dobijanja finalnih XYZ koordinata svih ciljnih tačaka (slika 4.22.).

Kao primjer kreiranja realističnih 3D modela tehnikom unaprijedene fotogrametrije može se navesti naš projekat Digitalni katalog stećaka, koji je rađen u saradnji sa Zemaljskim muzejem u Sarajevu [35, 36]. Ovaj projekat je opisan u poglavlju 8.



SLIKA 4.22. Podešavanje snopa

5

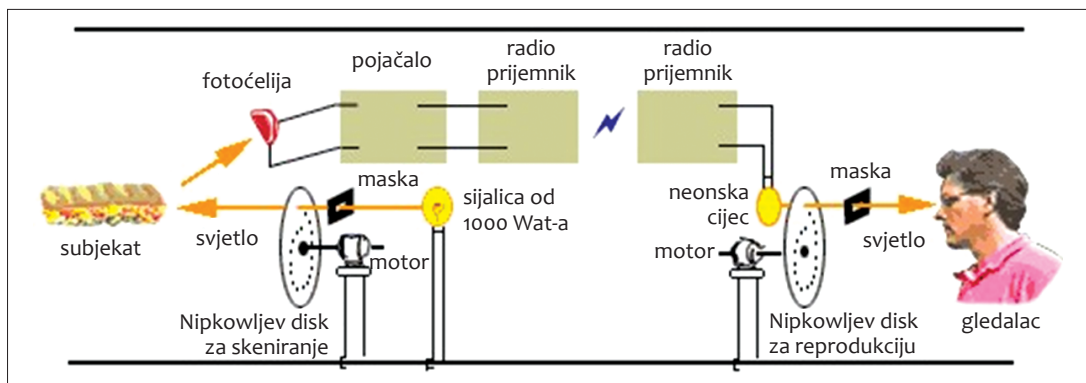
Broadcast grafika

Posebna forma dizajna razvila se kada su se kompjuteri dovoljno usavršili da postanu dio procesa televizijske produkcije. Danas je nemoguće zamisliti televizijski program bez ove vrste dizajna, koja obuhvata špice, potpise, ilustrirane pozadine, čak i elemente scenografije. Ovo poglavlje opisuje osnovne koncepte televizije, od prve mehaničke, preko elektronske, televizije u boji, do današnje digitalne televizije, kao i osnove te posebne vrste dizajna koja se naziva **TV dizajn** ili **broadcast dizajn**.

5.1. Osnovni koncepti i razvoj televizije

Mehanička televizija

Paul Nipkow je 1884. godine izumio jedan disk sa rupama koje idu spiralno u njegov centar. Ovaj pronalazak je uobličio razvoj televizije. Inženjeri John Logie Baird i Charles Francis Jenkins su, između ostalih, koristili ovaj Nipkow-ljev disk za kreiranje prvih sistema za skeniranje, prenos i prijem slike u 1920-tim. Oni su kreirali cijele TV sisteme na bazi mehaničkog skeniranja i prijema slike. Bez katodne cijevi.



SLIKA 5.1. Baird-ova mehanička televizija

Elektronska televizija

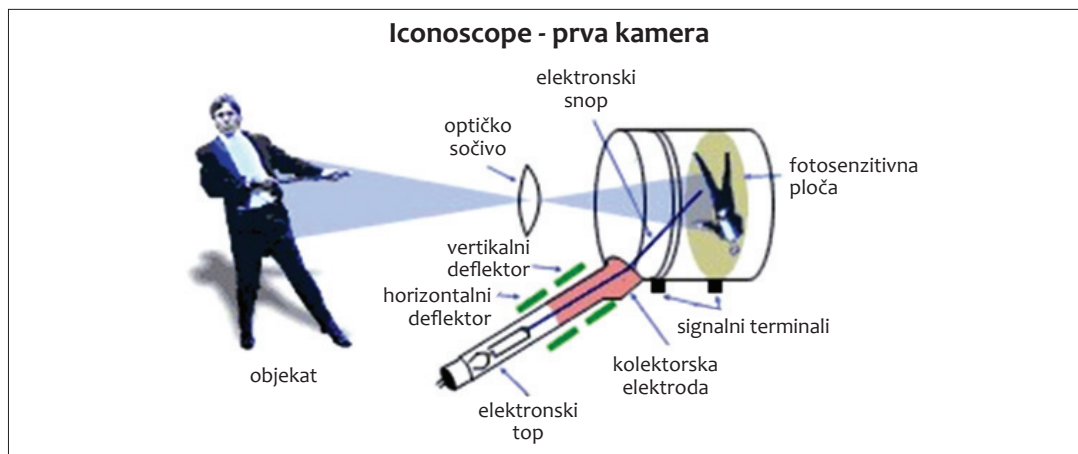
Elektronski tv sistemi su zaostali za mehaničkim nekoliko godina, uglavnom zato što je mehanička televizija bila jeftinija za proizvodnju i nije koristila složene komponente. Bilo je veoma teško naći finansijsku potporu za razvoj elektronske televizije kada je mehanička televizija radila tako dobro.

Nakon toga su Vladimir Kosmo Zworykin i Philo T. Farnsworth napravili neke značajne proboje i elektronska televizija je uhvatila korak.

Vladimir Zworykin je pronašao finansijsku potporu od Davida Sarnoff-a iz RCA koji je predvidio da se elektronska televizija može bolje isplatiti.

Farnsworth i Zworykin su obojica, radeći odvojeno, napravili veliki napredak prema komercijalnoj televiziji i televizorima koje svalo može priuštiti. Do 1935. obadvojica su emitovali koristeći elektronske sisteme. Ali, Baird Television je bila prva 1928. sa mehaničkim sistemom.

U to vrijeme veoma mali broj ljudi je imao tv prijemnik preko koga je mogao gledati mutnu sliku na dvo ili tro-inčnim ekranima. Budućnost televizije nije izgledala sjajno, ali je konkurencija bila velika.



SLIKA 5.2. Prva televizijska kamera

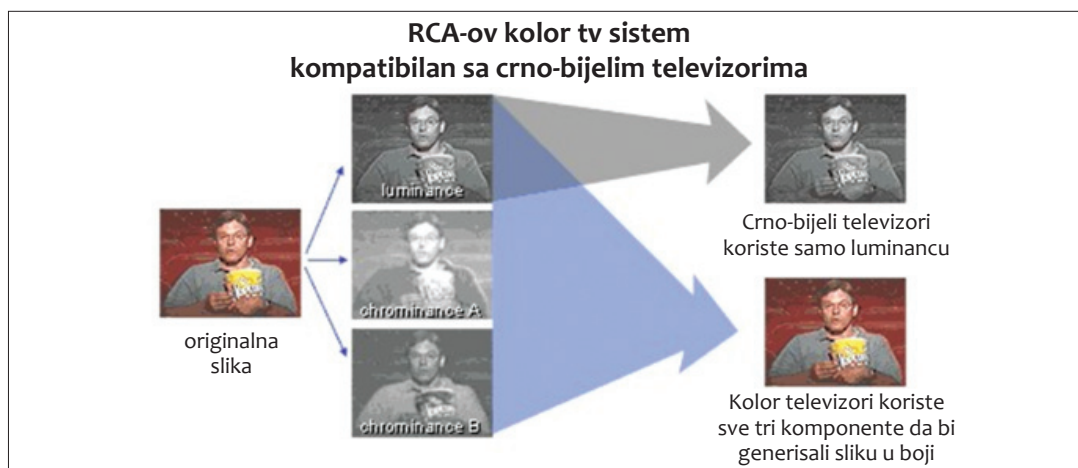
Do 1939. RCA i Zworykin su bili spremni za emitovanje programa i počeli su sa prenosom Svjetskog sajma u New York-u (World's Fair)

Stvari su se odvijale brzo i 1941. National television Standards Committee je odlučio da je vrijeme da se stvore standardi za TV emitovanje u SAD. Pet mjeseci kasnije, 22 nacionalne TV stanice su usvojile te standarde. Nakon II svjetskog rata nastalo je "Zlatno doba televizije". Nažalost, bila je crno-bijela.

Televizija u boji

CBS je razvio TV sistem u koloru nekoliko godina prije svog konkurenta, RCA. Međutim, ovaj sistem nije bio kompatibilan sa crno-bijelim TV prijemnicima.

RCA je zatim razvio kolor sistem koji je radio i na crno-bijelim prijemnicima. Ovaj sistem je usvojio NTSC 1953.



SLIKA 5.3. RCA-ov sistem televizije u boji

Komponentni i kompozitni video

Kada se televizija tek pojavila, prikazivala je crno bijele slike. Tehnički termin za video signal koji je crno bijel je luminantni (luminanace) signal.

Jednu dekadu kasnije, naučnici su otkrili da se signal može emitovati u koloru. Problem je bio sljedeći: većina gledalaca je imala crno-bijele tv prijemnike. Izum kolor signala morao je biti takav da ga mogu emitovati i crno-bijeli tv prijemnici. Zbog toga je kolor signal jednim svojim dijelom morao biti luminantni. Zato su naučnici dodali tv signalu krominantni (chrominance) dio. Kolor tv prijemnik je mogao kombinovati oba dijela signala i prikazivati sliku u koloru, dok su crno-bijeli tv prijemnici koristili samo luminantni dio signala.

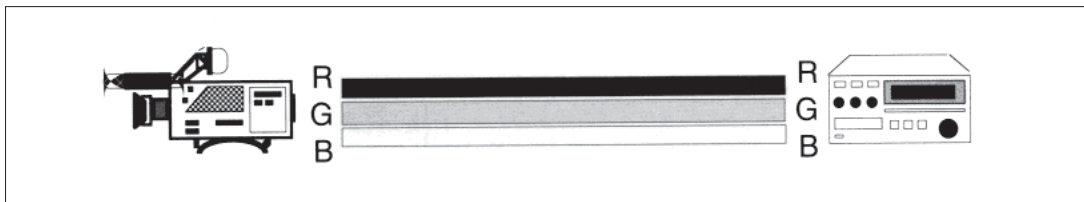
Danas se elektronski video signal sastoji od dvije vrste signala: luminantnog i krominantnog. Luminantni dio je svjetloća signala koja se sastoji od stepena nijansi od crne do bijele. Krominanaca ili kroma je kolor dio signala i odnosi se na boju i zasićenje (hue i saturation). Možemo to posmatrati i ovako: luminanca crta sliku, a kroma je boji.

Najmanji dio video slike je piksel. Ako se dovoljno približimo televizoru možemo vidjeti piksele. Kod kolor televizora svaka fosforna tačka je osvijetljena sa tri elektronska topa unutar katodne cijevi. Jedan top izbacuje crvene zrake, drugi zelene, a treći plave. Kombinacijom te tri komponente može se pikselu dati bilo koja boja.

Na ovaj način se mogu kreirati i crno-bijele nijanse, tako da se i luminantni signal može predstaviti na ovaj način.

Komponentni video je vrsta video signala gdje se RGB informacija, bilo da je u analognom ili u digitalnom formatu, čuva u odvojenim kanalima, koristeći odvojene kablove i odvojeno interno procesiranje za svaku komponentu boje.

Ovo prouzrokuje dvije stvari. Dobra strana je što crveni, zeleni i plavi signal ostaju veoma čisti. Slika izgleda dobro i nema mnogo gubitaka u presnimavanju. Loša strana je što je ovakva oprema skuplja, jer su potrebni posebni kablovi, trake, magnetoskopi i sl.

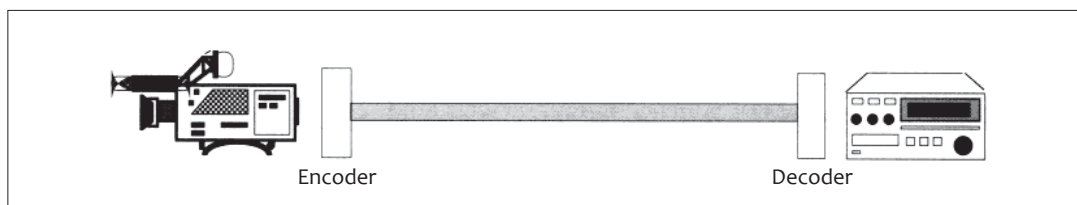


SLIKA 5.4. Komponentni signal

Kompozitni video je mnogo jednostavniji. Kompozitni signal miješa zajedno sve tri komponente boje. Metod po kojem se to radi baziran je na standardima (NTSC, PAL i SECAM). U našim krajevima koristi se PAL standard.

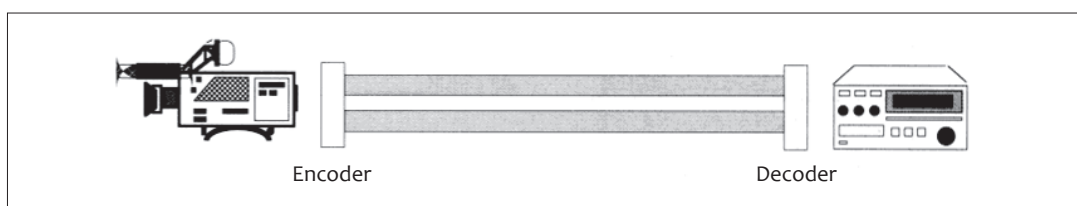
TV prijemnici dekodiraju i dekompresuju PAL video da bi se prikazao na monitoru. Kompozitni video je jeftin i jednostavan. Međutim, kod presnimavanja se gubi na kvalitetu, zbog više kodiranja i dekodiranja signala. Skoro sva profesionalna oprema je kompozitna.

Komponentni video, zbog komplikovanosti tehnologije, koristi se samo ondje gdje je potrebno više puta presnimavati materijal, kao npr. kod specijalnih efekata.



SLIKA 5.5. Kompozitni signal

Postoji i treća opcija. Ako ne želimo da se mučimo sa tri kabla (komponentni signal) ili da imamo problema sa kvalitetom u presnimavanju (kompozitni signal), možemo koristiti dva kabla. Tako možemo odvojiti luminantni signal (kao Y) i krominantni signal (kao C). Ovako se formira S-VHS i Hi-8 format signala. Oni nisu sasvim komponentni, ali nisu ni pomiješani kao kompozitni. Ovaj signal se zove **Y/C video ili pseudo-komponentni**.



SLIKA 5.6. Y/C signal

Komponentni i kompozitni video sistemi

Prema imenu video produkta možemo odrediti da li je on komponentni, kompozitni ili Y/C video. Svaki video, čak i digitalni, mora biti kodiran na jedan od ovih načina. Slijedi lista najčešćih video formata:

Komponentni:

- D1 (19 mm digitalni)
- D5 (19 mm digitalni)
- Beta SP (1/2" analogni)
- MII (1/2" analogni)
- Betacam (1/2" analogni)
- Digital Betacam (1/2" digitalni)
- DCT (19 mm digitalni)
- (4:2:2 = digitalni komponentni)
- (RGB = analogni komponentni)

Y/C (ili pseudo-komponentni)

- S-VHS (1/2" analogni)
- Hi-8 (8 mm analogni)

Kompozitni:

- D2 (19 mm digitalni)
- D3 (19 mm digitalni)
- 1" tip C (1" analogni)
- ¾" U-matic (¾" analogni)
- ¾" SP (¾" analogni)
- 8 mm (8 mm analogni)
- VHS (1/2" analogni)
- (NTSC, PAL = analogni kompozitni)

Iako su D1, D2 i D3 trake sve formata 19 mm, kasete su različite i ne mogu se međusobno mijenjati. Ista situacija je i sa ½" formatima.

Kada se video montira, kodiranje i dekodiranje između kompozitnog i komponentnog formata može degradirati signal. Nažalost, zbog cijene komponentne opreme, mnoge produkcije koriste jedan dio komponentne opreme, kao što su D1 magnetoskopi, a između njih se nalaze komponentni switcheri. Sve prednosti komponentnog signala mogu doći do izražaja samo ako je cijeli lanac produkcije komponentan.

Kvalitet video trake

Mada Y/C formati teoretski mogu proizvesti bolji signal od kompozitnih formata, trake koje se koriste za snimanje su značajno manjih gustina magnetskog oksida nego one koje se koriste za profesionalnu upotrebu. Ta gustina oksida u kombinaciji sa brzinom trake, definiše tzv. maksimalni signal bandwidth koji može biti snimljen.

Takođe primijetimo da širina trake (½", ¾", 1") nema direktne veze sa kvalitetom video trake. Prve video trake bile su široke 2" i danas više ne postoje. Samo dio trake koji pokrivaju glave za snimanje sa svakim skeniranjem (za svako polje) u kombinaciji sa gustinom oksidnih čestica u tom dijelu utiče na video kvalitet.

Čestice oksida na video traci su na neki način slične neravninama na hrapavom papiru. Hrapavi papir ima mali broj neravnina po inču, kao jeftine trake. Finiji papir ima više neravnina po inču, kao high density ili profesionalne trake. Prema tome, što je veća gustina, bolji je kvalitet.

Neki osnovni pojmovi televizijske terminologije

Key

Key je sabiranje dvije ili više slika. Jedna slika je video element koji ima rupe kroz koje se vide druge slike. Nekada se umjesto pozadine koja je u jednoj od tri osnovne boje (crvenoj, zelenoj ili plavoj) ubacuje slika. Ovaj način key-a je zastario i zove se chroma key.

Black

Black ili "crno" je oznaka za "prazan video signal". On se koristi kao pauza u montaži prije ili poslije video clip-a. Može se dobiti direktno sa magnetoskopa ili video miksete ili kao crni background sa računara.

Frejm

U PAL standardu sekunda je podijeljena na 25 frejmova. Znači, frejm je najmanja jedinica od koje se sastoji video signal (slika). Tehnički, slika jednog frejma se može još podijeliti na dvije poluslike (field-ove) što ima veze sa tehnikom zapisa slike na magnetoskopu.

Time code

Svaka traka sa zapisanim video signalom sadrži time code. To je kod koji se sastoji od vremena izraženog u satima, minutama, sekundama i frejmovima. Prije montaže nova kasetna ili traka se "kodiraju" tj. usnimava im se time code. Nakon toga se dobije traka sa crnim video signalom i kodom na osnovu koga se mogu orijentisati uređaji za montažu. Taj kod je osnovica za snalaženje na traci, bilježenje gdje se nalazi koji video clip i bilo koju drugu operaciju sa snimljenim materijalom.

Time code izgleda ovako

00	:	01	:	15	:	30
sati		minute		sekunde		frejmovi

Lanac TV produkcije

Televizijska emisija nastaje kao proizvod koji prolazi određeni lanac produkcije.

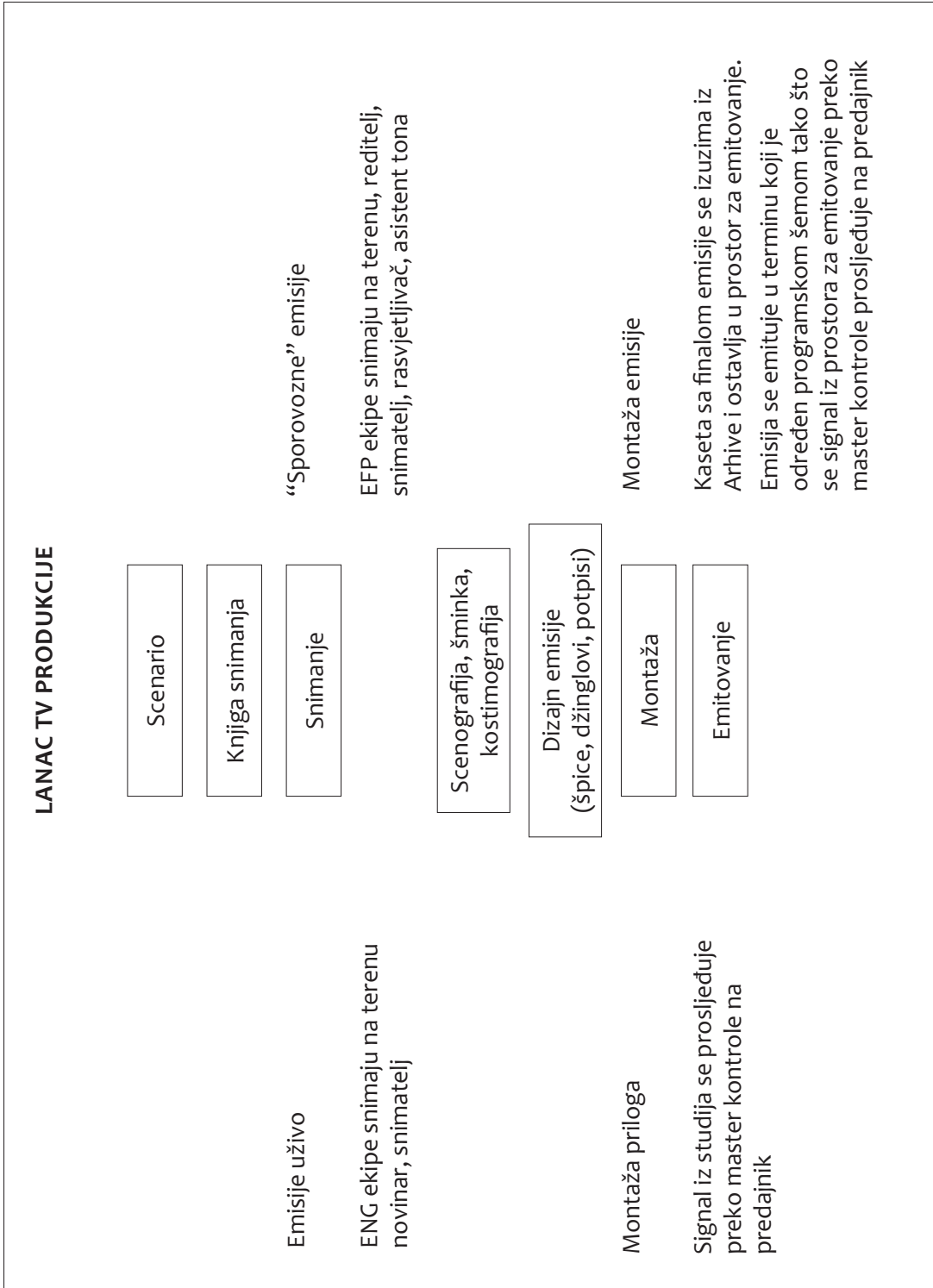
Prva faza je, naravno, pisanje scenarija i knjige snimanja. Zatim se organiziraju snimanja u enterijeru ili eksterijeru, priprema scenografija, kostimi i rasvjeta. Slijedi snimanje u studiju ili na nekoj drugoj lokaciji.

Ukoliko se snima u studiju koriste se tzv. studijske kamere, a njihovi signali se miksaju sa ostalim signalima preko audio i video miksete koje se nalaze u tonskoj i video režiji.

Snimanja "na terenu" vrše se mobilnim kamerama, a rade ih tzv. ENG ekipe koje se sastoje od snimatelja, asistenta tona i rasvjetlivača.

Nakon snimanja materijal ide u montažu. Špice i elementi dizajna se dodaju u montaži, a mogu biti urađene kao posebni video clipovi ili se uvoziti u program za montažu i key-ati (potpis) ili čak raditi direktno u programu za on-line montažu.

Nakon montaže televizijska emisija je spremna za emitovanje. Sa magnetoskopa za emitovanje signal sa video trake ide preko master kontrole i režije dnevnog programa na predajnik i prikazuje se preko antenskih prijemnika na kućnim televizorima.



SLIKA 5.7. Lanac TV produkcije

Digitalna televizija

HDTV ili televizija visoke definicije je novi standard u televizijskoj tehnologiji koji omogućava wide-screen kvalitet slike sličan onom na filmu od 35 mm i kvalitet zvuka koji odgovara CD-u.

HDTV je dio od nekoliko standarda koji postoje u digitalnoj televiziji (DTV). U osnovi, DTV se sastoji od tri odvojena standarda:

- HDTV 1080 (1080 linija rezolucije, 16:9 aspect ratio)
- HDTV 720 (720 linija rezolucije, 16:9 aspect ratio)
- SDTV (480 linija rezolucije, 16:9 ili 4:3 aspect ratio)

HDTV je najveći događaj u svijetu televizije od pojave televizije u boji. U poređenju sa standardnom televizijom, pravi HDTV signal ima dvostruku definiciju luminance – vertikalnu i horizontalnu – i širi je za 25%. Omjer horizontale i vertikale u standardnoj TV je 4:3 (4 jedinice široka, 3 jedinice visoka), a kod HDTV je 16:9. Ovaj omjer je mnogo bliži prosječnoj slici na filmskom platnu. Najveća prednost HDTV slike je njena čistoća. Prava HDTV slika se sastoji od 1080 aktivnih linija (1125 total), dok se standardna televizijska slika sastoji od 486 aktivnih linija (525 total). Kod standardne televizije moguće je vidjeti te linije, dok je kod HDTV-a to nemoguće.

HD slika sadrži pet puta više informacija nego standardna slika i sadrži višekanalni zvuk CD kvaliteta. Razlika u kvalitetu slike i zvuka je drastična.

Rezolucija slike

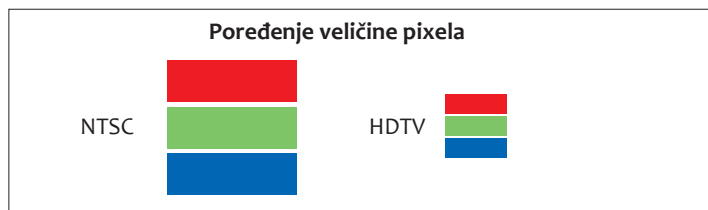
Slika koju vidimo na svojim televizorima sastoji se od malih četvorouglova koji se zovu pixeli. Riječ pixel je nastala od “element slike” (Picture Element) i predstavlja najsitnije uočljivo četvorougaono područje ekrana. Svaki pixel se zapravo sastoji od tri bliske tačke u crvenoj, zelenoj i plavoj boji. Kad se one iskombinuju na fosfornom ekranu, stope se u jednu boju.

Svaki fosfor emituje svjetlo proporcionalno intenzitetu elektronskog snopa koji ga bombarduje. Na standardnom televizijskom ekranu elektronski snop ima oko 256 nivoa intenziteta, za svaku od 3 obojene tačke.

Zato svaki pixel ima spektralno područje od 16.8 miliona boja. Idealno, 3 obojene tačke trebale bi se poklopiti, ali one su samo toliko blizu da oko ne može uočiti njihovu udaljenost.

Iz daljine, svaki pixel izgleda kao jedna tačka u boji. Rezolucija standardne televizije nije posebno dobra. Da bi poboljšala rezoluciju, HDTV će koristiti manje pixele koji su međusobno bliži i oni će biti kvadratnog oblika.

Stari NTSC format koristi četvorougaone pixele koji su malo viši nego širi. Novi HDTV format je sastavljen od kvadratnih pixela, kao kod kompjuterskih monitora. Ovo će ukloniti neke distorzije slike koje su se mogle vidjeti na standardnim televizorima.



SLIKA 5.8. Analogni i digitalni pixel

Digitalni pixeli su još uz to i manji. Područje koje zauzima jedan standardni pixel može se popuniti sa 4.5 digitalnih pixela. Ovo znači da je slika skoro pet puta detaljnija.

Neki NTSC TV prijemnici mogu prikazati sliku koja je široka 720 pixela i visoka 486 pixela. To je ukupno 349920 pixela. Ovo je prilično loša rezolucija u poređenju sa kompjuterskim monitorima gdje je rezolucija 800x600 ili bolja.

HDTV može imati rezoluciju do 1920x1080. Ovo je 6 puta više pixela nego ranije. Znači, HDTV će imati manje, kvadratne pixele i biće ih više. Slika će biti čistija, sa više detalja u svakom krupnom planu ili panorami.

Digitalno protiv analognog

Šta čini digitalnu televiziju tako posebnom? Digitalna slika ne mora biti bolja od analogne, nekad može biti čak i gora. Npr. Japanci emituju HDTV putem analognog signala. Mora postojati razlog zašto su SAD izabrale da prođu kroz probleme prelaza sa analognog na digitalno emitovanje.

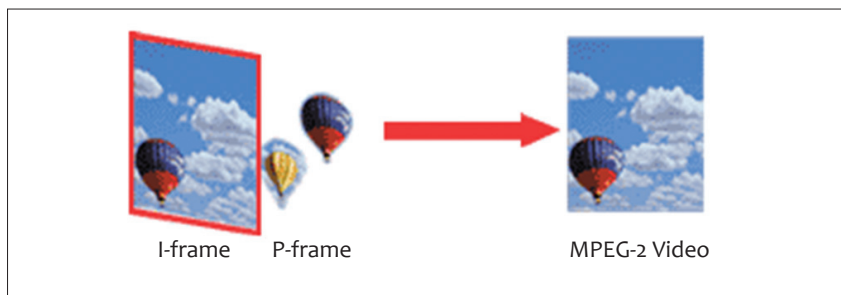
Postoji nekoliko razloga za ovo: koliko se podataka može prenijeti, konzistentnost stanja podataka na daljinu i koji tip podataka signal može nositi. U istu širinu bandwidth-a može stati mnogo više digitalnih nego analognih podataka. Digitalni signal nema probleme sa daljinom prenosa kao analogni. Televizija digitalnog doba neće biti ograničena samo na video i audio, ona će zaista biti interaktivna.

Kombinacija HDTV-a i digitalnog zvuka znači bolju sliku, bolji zvuk i digitalne podatke. To samo još treba uklopiti u istu količinu frekvencije.

Prednost digitalnog signala nad analognim je mogućnost kompresije. Da bi se prenio signal analogno, svaki pixel mora biti uključen u signal. Standardni NTSC signal se sastoji od 525 linija po 720 pixela. Ovo se uklapa u 6 MHz bandwidth-a TV kanala. Japanska HDTV koristi 20 MHz bandwidth-a za slanje slika od preko 675 000 pixela. Ovo je preko 2 puta onoliko signala za slanje slike i tona visoke definicije, ali bez drugih podataka.

U SAD, standardni ATSC (Advanced Television Systems Committee) ekran može imati do 1080 linija po 1920 pixela ili 2073600 pixela po frejmu. Veća količina informacija mora se poslati preko 6 MHz-nog bandwidth-a. Ovo se radi kompresijom.

Video na digitalnoj televiziji će biti kompresovan pomoću MPEG-2 šeme. Ona koristi osobine percepcije kolor varijacija i pokreta kod ljudskog oka. Unutar svakog frejma MPEG-2 koder pamti onoliko detalja koliko je potrebno da ništa ne nedostaje. Koder takođe poredi susjedne frejmove i pamti samo dijelove slike koji su se pomjerali ili promijenili.



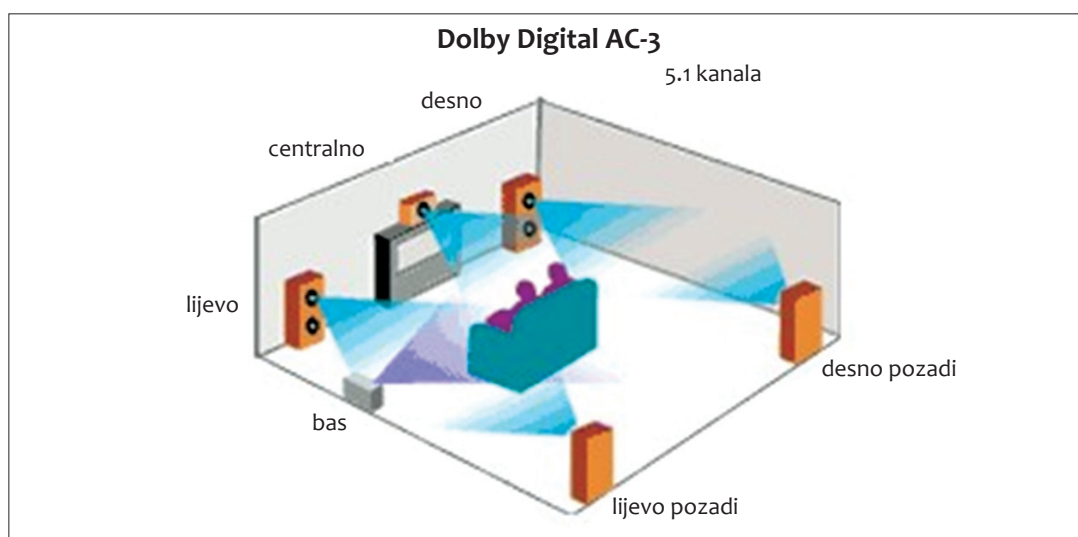
SLIKA 5.9. MPEG-2 koder

MPEG-2 ima neke nedostatke, ali je dovoljno dobar da bi bio industrijski standard za DVD video i neke satelitske servise. Jedan problem kod MPEG-a 2 je da je on metod kompresije "sa gubitkom". To znači da veći stepen kompresije daje lošiju sliku. Postoje određeni gubici u kvalitetu između digitalne video kamere i onoga što vidimo na ekranu. Međutim, kvalitet je i dalje mnogo bolji nego kod prosječne NTSC slike. Koristeći ovu šemu kompresije možemo reducirati količinu bita sa 55 na 1.

Digitalni zvuk

Digitalni zvuk ima širi opseg frekvencije, finije sampliranje i ne gubi na kvalitetu sa vremenom.

HDTV će emitovati zvuk prema Dolby Digital/AC-3 audio sistemu. To je isti digitalni zvuk kakav koriste u kinima. Ovaj sistem može sadržavati do 5.1 kanala zvuka: tri naprijed (lijevi, srednji i desni), dva pozadi (lijevi i desni) i kanal za basove (to je .1 kanal). Zvuk na digitalnom televizoru će biti "CD kvaliteta" sa opsegom frekvencija koji uključuje i one iznad i ispod granice čujnosti.



SLIKA 5.10. Digitalni zvuk

Prijem signala

Ako je signal slab, prijem na televizoru može biti loš uz mnoge smetnje i nepravilnosti. Svi ovi problemi su uzrokovani zbog slabog signala sa udaljenog ili blokiranog predajnika.

I analogni i digitalni signal postaju slabiji sa udaljenošću. Međutim, dok slika na analognom televizoru postepeno postaje sve lošija kod udaljenih prijemnika, slika na digitalnom televizoru će ostati perfektna sve dok signal toliko ne oslabi da ga prijemnik uopće ne može primiti. Dakle, kod digitalnog signala slike ima ili nema.

Digitalni TV signali su dugi nizovi bita koji mogu sadržati bilo koje podatke koje onaj koji emituje želi dodati signalu. Svaki kanal ima oko 19.2 Mbs (megabita po sekundi). Većina podataka mogu biti video i audio, ali i drugi oblici podataka. Zamislimo veoma brzu mrežnu konekciju koja šalje slike, zvuk, multimedijalne igre i ilustrovane članke, sve u vezi sa programom koji gledamo.

Na ovaj način televizija može postati interaktivna.

Ekperimenti

Interaktivna televizija nije baš potpuno nova ideja. Skoro svaka TV stanica šalje podatke zajedno sa signalom. Međutim, samo mali broj gledalaca može vidjeti ili čuti te podatke. Ali, ovdje nema interaktivnosti.

U 1980-tim TCI i Time Warner su testirali svoje verzije interaktivne televizije na određenom testnom tržištu. Pretplatnici na te servise su mogli kupovati on-line, igrati igre sa ljudima iz istog grada i sl. Većina testiranih smatrala je te servise korisnim, ali ni TCI ni Time Warner nisu mogli pokriti troškove tih servisa, a da održe cijene koje su razumne za potrošače.

Umjesto eksterne konekcije na mrežu, kao što su ovi dosadašnji ekperimenti, digitalna TV će ugraditi interaktivnost u signal koji se emituje. Ovakvo slanje interaktivnih podataka košta veoma malo.

Konvergenција televizije i kompjutera će napraviti veliki iskorak sa digitalnim emitovanjem. Podaci će se slati zajedno sa slikom i tonom. Još je nepoznato kako ćemo koristiti te podatke, ali jedna od praktičnijih opcija je set-top box.

To je kutija koja je dodatak digitalnom televizoru. On će primati signal iz kabla priključenog na antenu ili kablovski priključak, a izlaz će mu biti spojen na televizor.

Set-top box će procesirati podatke koji se šalju unutar signala, smještajući neke od njih i izvršavajući aplikacije. Način na koji će se ovo odvijati je još uvijek u razvoju. Postoji nekoliko koraka u procesu koji se još moraju definirati i implementirati kao što je format podataka, operativni sistem set-box-a i razvoj aplikacija.

Sada izgleda da će se set-top boxovi bazirati na nečem kao što je Windows ili Java. Bez obzira koji sistem bude odabran, televizija postaje interaktivna i otvaraju se nove mogućnosti.

U zadnjih 5 dekada, televizija je promijenila način na koji vidimo svijet i kako učimo i komuniciramo. Međutim, osnovna tehnologija televizije nije se promijenila sa napretkom u sferi komunikacija. Digitalna televizija će promijeniti način kako gledamo i slušamo televiziju. Do 2006. godine sve tv stanice u SAD su prešle na digitalno emitovanje.

5.2. Forme TV dizajna

Televizijski dizajn ili dizajn televizijskog programa se ispoljava kroz više formi. To mogu biti statične forme kao što su telop ili potpis, i pokretne forme kao što su animacija, špica ili video clip.

Statične forme se sastoje od jedne bitmape te zbog toga ne mogu sadržavati nikakav pokret.

Pokretne forme se sastoje od frejmova i imaju određeno trajanje. Za grafiku u televizijskom dizajnu karakteristično je da su trajanja kraća (najviše oko 1 minut).

Potpis

Jedan od najjednostavnijih i najstarijih oblika grafike u TV dizajnu je **potpis**. Potpisom se zovu bilo kakva slova koja se pojavljuju preko slike. Npr. kada se emituje izjava neke osobe, u donjem dijelu ekrana se pojavljuje njeno ime i prezime i eventualno funkcija koju obavlja.

U doba početaka filma potpisi ili titlovi su se ubacivali između kadrova na crnoj pozadini i slikani su kamerom.

Na određenom stepenu razvoja televizije uvedeni su tzv. **karakter generatori**. To su bile sprave koje su specijalno napravljene za generisanje potpisa. Oni su sadržavali određeni broj fontova, podržavali neke jednostavne operacije nad slovima i eventualno promjenu boje slova. Također su mogli emitovati slova, osim statično, i u dva osnovna pokreta: **rol** i **krol**.

Rol je u televizijskoj terminologiji pokret više redova slova po vertikali, najčešće odozdo nagore.

Krol je pokret jednog reda slova po horizontali, najčešće zdesna nalijevo.

Ovi pokreti se još uvijek koriste u odjavnim špicama, a krol i prilikom emitovanja nekih obavještenja za gledaoce.

U današnje vrijeme se još uvijek u živom programu koriste karakter generatori za potpise, ali u produkciji oni su dio programa za nelinearnu montažu i podržavaju razne efekte koji se mogu dati slovima, uključujući i pokret.

Tako danas potpisi mogu u sebi sadržavati neku animaciju, a skoro uvijek iza slova postoji pozadina urađena u skladu sa kompletnim dizajnom emisije.



SLIKA 5.11. Potpis u emisiji Olimpijski magazin BHT1



SLIKA 5.12. Grafička pozadina za potpis u emisiji BH info BHT1

Telop

Telop je također u današnje vrijeme skoro prevaziđena forma. On potiče iz vremena kada nije bilo grafike u elektronskom smislu na televizijskom ekranu, nego se ona crtala na papirima i slikala tzv. kamerom čitačem.

Telopi su korišteni za najavu određenih emisija u programu ili kao ilustracija unutar informativnih i drugih emisija. Pojavom elektronske grafike nastali su telopi koji su se sastojali iz slova sa karakter generatora postavljenih na određenu jednobojnu pozadinu koja se generisala sa video miksete.

U današnje vrijeme rijetko se koriste telopi zbog svoje statičnosti. Njihova upotreba se zadržala u informativnim emisijama gdje se koriste za ilustraciju vijesti za koje nema usnimljenih kadrova koji bi je pokrili. Oni su tada grafički složeni i gledaocu pobliže objašnjavaju informaciju koju sluša.

Npr. ako se desio zemljotres na Haitiju, telop može sadržavati kartu mjesta događanja, grafički iskombinovanu sliku ruševine, sliku izvještača sa lica događaja i eventualno neki tekst sa naslovom vijesti ili imenom izvještača.



SLIKA 5.13. Telop ili stil sa humanitarnim brojevima za pomoć Haitiju

Upotreba ovakvih ilustracija u današnje vrijeme je neizostavna i one dostižu veoma visok stepen savršenstva grafičkog dizajna. U terminologiji ih još zovu “stils” što je nastalo od engleske riječi still image – statična slika.

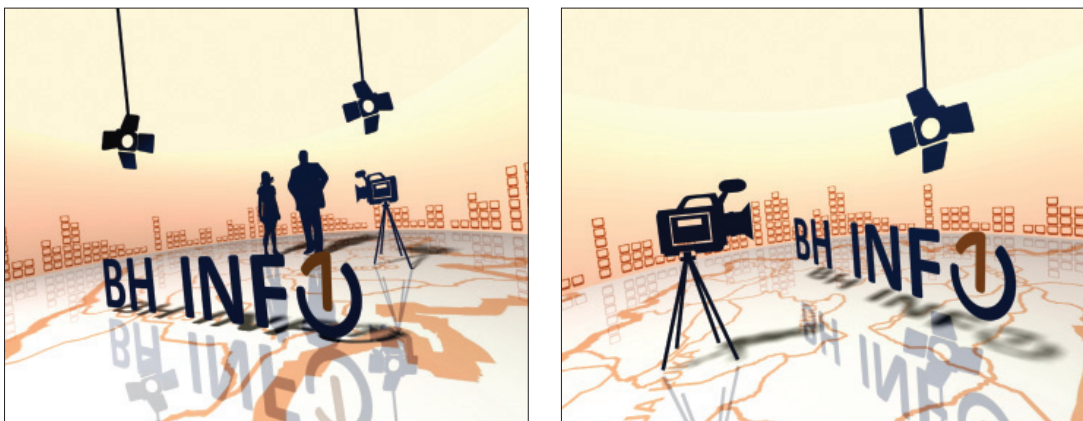
Špice

Svaka emisija ima najavnu i odjavnu špicu.

Najavna špica je jedna od najsloženijih formi u televizijskom dizajnu (slika 5.14a). Ona je kruna dizajna televizijske emisije. Njeno trajanje zavisi od trajanja same emisije, pa su špice polusatnih emisija obično od 10 do 15 sekundi, emisija koje traju 1 sat od 20 do 30 sekundi itd. Trajanje najavne špice rijetko prelazi četrdesetak sekundi.

Sadržajno, najavna špica emisije nema nekih posebnih pravila, osim da se u zadnjoj trećini ili četvrtini njenog trajanja najčešće pojavljuje naslov emisije. Obično najavna špica uvodi gledaoca u sadržaj emisije ili barem u oblast kojom se emisija bavi.

Najavne špice se rade u svim tehnikama televizijskog dizajna, a u zadnje vrijeme najpopularniji je compositing.



SLIKA 5.14. Frejmovi iz najavne špice i džingla za emisiju BH info BHT1

Odjavna špica u pravilu sadržava popis imena članova ekipe koja je učestvovala u procesu stvaranja televizijske emisije (slika 5.15.). Pojedine emisije kao što su dnevnik, vijesti ili neke kraće informativne emisije u odjavnoj špici sadrže samo ime urednika i realizatora ili čak samo naziv televizije i datum. Druge emisije imaju potpisanu čitavu ekipu.

Odjavna špica se najčešće kreće po ekranu u rolu ili krolu. Ona može imati neku grafički dizajniranu pozadinu koja se uklapa u dizajn čitave emisije. U tom slučaju, kao i kod potpisa sa pozadinom, veoma je važan kontrast između slova i pozadine, da bi se postigla njihova dobra čitljivost.



SLIKA 5.15. Odjavna špica emisije BH info BHT1

Džinglovi

Džinglom se zove kraća forma u televizijskom dizajnu koja se emituje kao spona ili prelaz između dijelova televizijske emisije (slika 5.14b). Ukoliko emisija ima rubrike, džingl može sadržavati nazive tih rubrika. Također, koriste se i univerzalni džinglovi sa imenom emisije ili nekim elementom iz dizajna emisije.

Trajanje džingla je između 3 i 10 sekundi. Najčešće su muzički akcentirani.

Dizajn emisije

Dizajn emisije obuhvata sve grafičke forme koje sadrži jedna emisija. Najavna špica, potpisi, telopi, džinglovi i odjavna špica treba da budu dijelovi istog dizajna. U taj dizajn obično se uklapa i scenografija i kostimografija u emisiji.

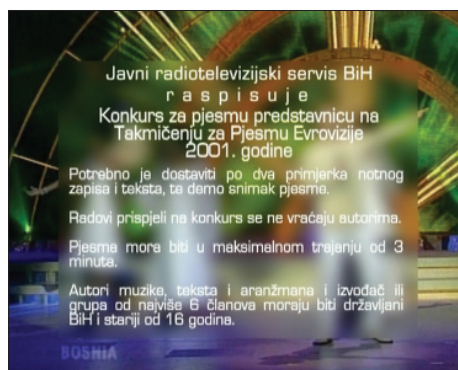
Televizijski dizajner u saradnji sa scenografom i kostimografom kreira dizajn emisije. U idealnom slučaju u televiziji postoji art-direktor koji rukovodi kompletnim dizajnom televizijskog programa i koordinira rad televizijskih dizajnera sa radom scenografa, kostimografa, šminkera, te tako utiče na kompletan vizuelni utisak koji gledalac ima prilikom gledanja tv programa.

Video clip

Video clip je generalna forma u nestatičnom televizijskom dizajnu. U video clip spada i najavna špica i džingl i odjavna špica, ali i sve druge forme pokretne slike. Video clip je reklama, muzički spot, kao i čitava emisija.

Sa stanovišta računarske grafike, video clip je sve što se može zapisati u formatu zapisa pokretne slike (npr. MPEG, AVI i sl.)

Programi za animaciju i compositing kao izlaz imaju video clip.



SLIKA 5.16. Frejm iz video clip-a koji najavljuje konkurs za Takmičenje za Pjesmu Eurovizije na TV BiH

6

Tehnike laserskog skeniranja

Digitalizacija kulturnog naslijeđa je jedan od najboljih načina za njegovo očuvanje, rekonstrukciju i prezentaciju širokoj javnosti. Jedan od načina za digitaliziranje objekata kulturnog naslijeđa su i tehnike laserskog skeniranja. One omogućavaju kreiranje visokokvalitetnih 3D modela koji se dalje mogu koristiti za višestruke primjene, kao što su: restauracija pomoću kompjutera, rekonstrukcija fragmentiranih i rastavljenih artefakta, virtualno bojenje, kreiranje 3D kataloga, virtualni muzeji, kreiranje dodatnog sadržaja za geografske web browsere itd [38].

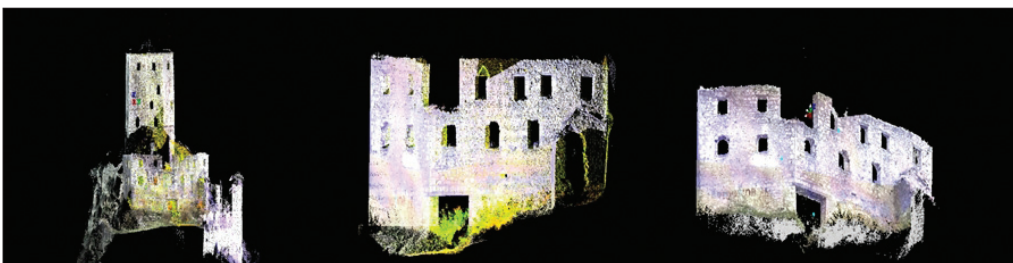
Najčešće korišteni metodi za kreiranje 3D modela se mogu podijeliti na one koji koriste aktivne optičke uređaje i one koji koriste pasivne optičke uređaje. Naravno, pored ovih se koriste i tehnike klasičnog 3D modeliranja, ali one ne daju tako realistične rezultate. Tehnike koje koriste aktivne optičke uređaje su zapravo tehnike laserskog skeniranja i one će biti opisane u ovom poglavlju, a tehnike na bazi pasivnih optičkih uređaja su tehnike kreiranja modela na bazi fotografija, od kojih su neke opisane u poglavlju 4.

6.1. Vrste laserskih skenera

Sa stanovišta hardvera tehnike laserskog skeniranja se mogu podijeliti na time of flight i triangulacijske tehnike. Kod time of flight (TOF) laserskih skenera sistem računa vrijeme koje protekne između emitovanja usmjerenog laserskog zraka i detektovanja povratnog zraka odbijenog od površinu. Znaajući pravac emisije, udaljenost reflektovane površine na ovoj usmjerenj liniji se računa množenjem vremena putovanja svjetla sa brzinom svjetlosti. TOF sistemi se uglavnom koriste za skeniranje velikih objekata (npr. arhitekture), imaju veliku radnu zapreminu (od nekoliko metara do nekoliko stotina metara), srednju rezoluciju sampliranja (obično jedan ili nekoliko sponova po kvadratnom centimetru), srednju tačnost uzimajući u obzir široki prostor rada (komercijalni sistemi garantuju grešku do 0.5 cm) i dugo vrijeme akvizicije (do 20-30 minuta). Njihove cijene se kreću oko 100.000 eura [38]. Primjer TOF skenera je terestrijalni skener Leica (slika 6.1.), a primjer rezultata skeniranja je sken kule u Počitelju (slika 6.2.).



SLIKA 6.1. Leica TOF skener



SLIKA 6.2. Kula u Počitelju skenirana Leica skenerom

Triangulacijski sistemi rade na principu elementarne geometrije. Za dati poznati uzorak svjetla (izvor i pravac prostiranja), slike reflektovanih uzoraka se uzimaju pomoću kamere locirane na maloj udaljenosti od izvora svjetla (tako da su relativne pozicije i orijentacije emitera i senzora poznate). Lokacija svake tačke refleksije u 3D prostoru se računa geometrijskom triangulacijom. Na postojećim uređajima koriste se različiti uzorci svjetla, kao što su tačkasti ili planarni laserski zrak ili trakaste slike koje proizvodi digitalni projektor. Kod triangulacijskih skenera je veoma velika tačnost (do nekoliko mikrona), ali je radna površina obično ograničena i zavisi od udaljenosti emiter – prijemnik (sampliraju se regioni od 10x10 do 100x100 cm i zato se veliki objekti skeniraju iz mnogo malih dijelova). Cijene triangulacijskih skenera se kreću 35000 do 50000 eura.

Primjeri triangulacijskih skenera su Konica Minolta 910 (slika 6.3.) i ZScanner 800 (slika 6.4.).



SLIKA 6.3. Konica Minolta 910



SLIKA 6.4. ZScanner 800

6.2. Procesiranje skeniranih podataka

Većina sistema za lasersko skeniranje još uvijek ne proizvode finalni 3D model, nego veliku kolekciju sirovih podataka koji se moraju postprocesirati. Kompletan sken određenog objekta zahtijeva akviziciju mnogo snimaka iz različitih tačaka pogleda da bi se prikupila kompletna informacija o objektu. Svaki sken proizvodi tzv. **range mapu**, tj. pogled na objekat zakodiran u oblak tačaka. Broj skenova može da varira od nekoliko desetina od nekoliko stotina. Ove range mape se moraju postprocesirati da bi se iz oblaka tačaka dobila optimalna 3D reprezentacija (obično površina koja se sastoji od trouglova). Struktura koraka u postprocesiranju je definisana u [39] i sastoji se iz sljedećih koraka:

- poravnanje range mapa: po definiciji geometrija range mapa je relativna u odnosu na trenutnu lokaciju senzora i mora se transformisati u zajednički koordinatni prostor gdje su sve range mape poravnate po njihovim preklapajućim regionima
- spajanje range mapa (rekonstrukcija): jedinstvena, neredundantna mreža trouglova se gradi iz mnogo range mapa koje se djelimično preklapaju
- editovanje mreže: popravljanje regiona koji nisu samplirani i ostali su kao rupe u geometriji

- simplifikacija mreže: obično se kao rezultat dobije ogroman fajl koji se mora reducirati uklanjanjem nepotrebnih vrhova ili multirezolicijskom reprezentacijom (finalni model kao serija modela različitih rezolucija).
- mapiranje boje: dodaje se informacija o boji modela njegovoj geometrijskoj reprezentaciji

6.3. Primjeri projekata laserskog skeniranja objekata kulturnog naslijeđa u BiH

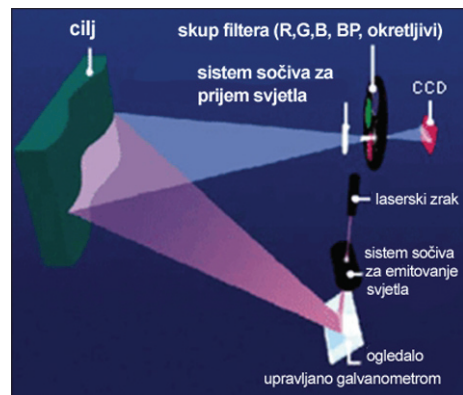
Tehnike laserskog skeniranja se primjenjuju u arhitekturi, mašinstvu, umjetnosti i restauraciji, medicini, inženjeringu, digitalnom arhiviranju, modeliranju kalupa, ergonomskom dizajnu, digitalnim medijima, igrama, animacijama itd. U nastavku ćemo navesti primjere upotrebe ovih tehnika u digitalizaciji objekata kulturnog naslijeđa.

Prvi projekat digitalizacije objekta pomoću laserskog skeniranja je „Virtuelna rekonstrukcija objekata kulturnog naslijeđa u Bosni i Hercegovini“ [40], u okviru koje je skeniran stećak iz Donje Zgošće.

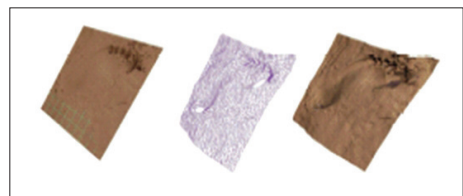
Za skeniranje objekta korišten je Minolta 910 laserski skener sa Univerziteta u Bristolu (slika 6.3.). To je skener za bliske objekte i korištenje unutar prostorija koji ima preciznost manju od jednog milimetra. Ovaj skener radi na principu laserske triangulacije (slika 6.5.).

Objekat se skenira laserskim prugama. Mehanizam za lasersko skeniranje karakterizira svaku tačku na skeniranom objektu prema njenoj lokaciji u 3D prostoru skeniranjem površine objekta jednom fokusiranom zrakom i snimanjem reflektovanog svjetla pomoću CCD kamere. Svaka tačka na objektu je opisana pomoću 3 numeričke vrijednosti pozicije x, y i z. Koordinata x svake tačke na objektu se računa iz tačnog mjerenja pozicije skenirajućeg ogledala u kameri. Koordinata y se računa tačnim mjerenjem sistema za pokret kamere (CMM camera motion system). Koordinata z ili koordinata opsega se računa laserskom triangulacijom unutar kamere. V19i mjeri 640x480 tačaka u jednom skenu, istovremeno snimajući podatke o obliku i boji površine.

Nakon mjerenja podataka o 3D dubini, Vivid 910 koristi svoj CCD za snimanje 2D slike na isti način kao digitalna kamera. CCD se oslanja na ambijentno svjetlo u osvjetljenju objekta. Skenerov softver onda uklapa tačke na fotografiji sa tačkama na površini skena i eksportuje podatke kao CDM fajl koji sadrži i mesh i bitmapu (slika 6.6.).



SLIKA 6.5. Princip rada Minolta Vivid 910



SLIKA 6.6. 2D slika (A) je mapirana na 3D mesh (B) i kombinirani model sa teksturom (C)

Kako manje osvijetljena područja proizvode bolje rezultate u skeniranju, stećak je skeniran tokom noći pod vještačkim osvjetljenjem. Zbog toga nismo bili zadovoljni sa snimljenim teksturama i odlučili smo da materijal napravimo u softveru za 3D modeliranje Maya tokom obrade modela (slika 6.7.)



SLIKA 6.7. Tekstura stećka koji je zabilježio laserski skener



SLIKA 6.8. Polovina stećka kreirana iz dijelova spojenih u Stitcher-u

Skenirani dijelovi su sastavljeni u poligonalni mesh pomoću skenerovog softvera Stitcher (slika 6.8.) [41].

Skenirani model punog kvaliteta je bio suviše velik da bi se mogao dalje obrađivati, tako da smo radili sa 5% kvaliteta originalnog skena koji je još uvijek bio veoma zahtjevan za performanse računara. U softveru Maya izvršili smo rekonstrukciju oštećenog dijela stećka (slika 6.9.).



SLIKA 6.9. a) stećak prije rekonstrukcije, b) stećak poslije rekonstrukcije

Dobijeni 3D model smo prilagodili web implementaciji u projektu “Virtuelno Sarajevo” [42] koristeći MeshLab alatke [43]. Odnos veličine originalnog skena i modela optimiziranih u Mayi i MeshLab-u može se vidjeti u tabeli 6.1.

Model	Opis	Broj vrhova	Broj strana	.OBJ veličina fajla (KB)
LS1	sken 5%	1.051.544	1.666.396	274.288
LS2	model optimiziran u Mayi	472.447	827.151	70.862
LS3	model optimiziran u MeshLab-u	86.384	150.000	12.402

TABELA 6.1. Veličine 3D modela na bazi laserskog skena [45]

Model optimiziran u Mayi smo koristili i za kreiranje simulacije Sunca (slika 6.10.) u kojoj smo analizirali kako se ornamenti stećka ponašaju pod osvjetljenjem iz različitih pravaca [44].



SLIKA 6.10. Ornamenti stećka pod osvjetljenjem iz različitih pravaca

Drugi primjer laserskog skeniranja koje smo vršili u okviru našeg istraživanja je skeniranje mangale iz Svrzine kuće u Sarajevu. Za skeniranje smo koristili ZScanner 700. Ovaj skener se priključuje na računar preko Firewire konekcije. Na objekat se nanese reflektivne tačke, nakon čega slijedi kalibracija samog skenera i spreman je za 3D skeniranje objekata. ZScan programska oprema kreira poligonsku mrežu površine objekta u realnom vremenu, tako da se odmah, na licu mjesta, može vidjeti kvalitet skena i odmah se može reagovati i ispraviti eventualne propuste (slika 6.11.). Pri samom skeniranju moguće je podešavati rezolucije skeniranja, tako da možemo očitati i najmanje detalje na samom objektu.

Skener ZScanner 700 ima prednost što se drži u ruci, tako da se može lako pristupiti svim dijelovima objekta.

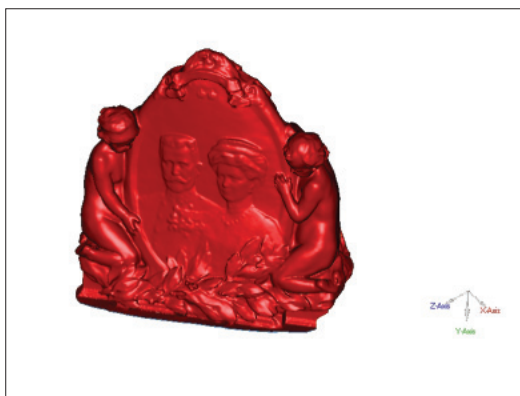


SLIKA 6.11. Skeniranje mangale skenerom ZScanner 700

Treći primjer laserskog skeniranja je skeniranje spomenika Ferdinandu i Sofiji koji se nekada nalazio na uglu Latinske ćuprije u Sarajevu. U sklopu projekta „Virtualni muzej sarajevskog atentata“ kreirali smo interaktivni 3D model ovog spomenika kombinacijom laserskog skeniranja sačuvanog dijela i 3D modeliranja (slika 6.14.). Skeniranje je vršeno na sličan način kao u slučaju mangale, samo što je ovaj put korišten ZScanner 800 (slike 6.12. i 6.13.).



SLIKA 6.12. Skeniranje dijela spomenika Ferdinandu i Sofiji



SLIKA 6.13. Laserski sken dijela spomenika

Naša iskustva su pokazala da je lasersko skeniranje veoma efikasan metod u kreiranju 3D modela objekata koji imaju nepravilnu geometriju. Ipak, laserski skenirani modeli se uglavnom moraju postprocesirati da bi se primijenili u aplikacijama za prezentaciju virtualnog kulturnog naslijeđa.



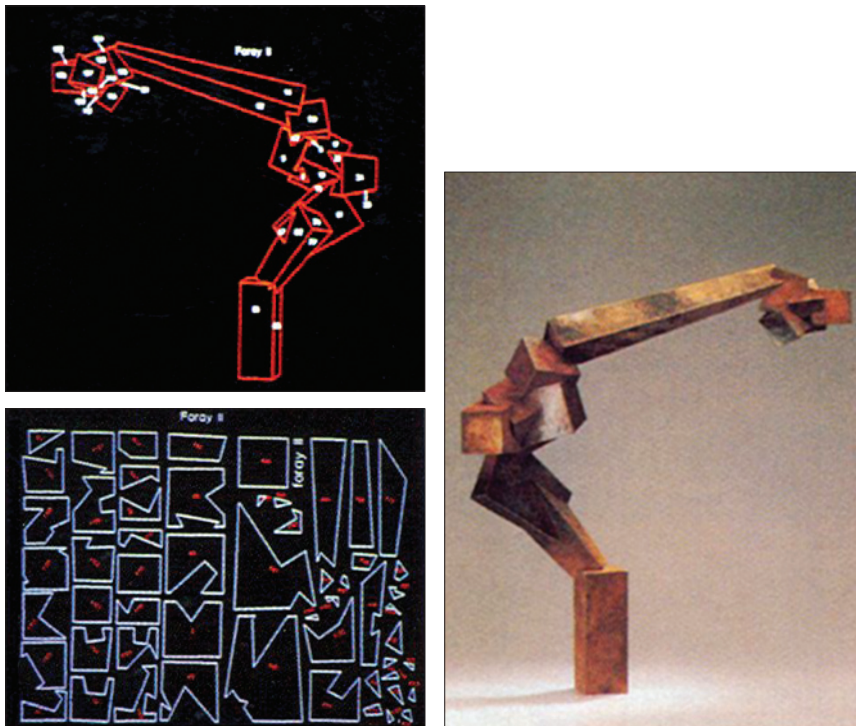
SLIKA 6.14. Interaktivni model spomenika

7

Tehnike 3D štampe

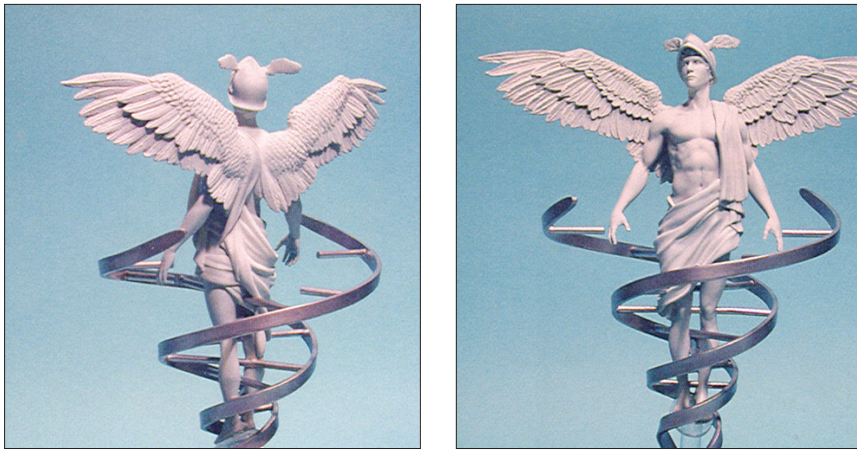
Osnovne tehnike za automatsku translaciju digitalnih 3D podataka u fizički 3D oblik (rapid prototyping) implementirane su uz pomoć različitih uređaja. Ove uređaje možemo podijeliti na mašine za rezanje, mašine za mljevenje, mašine za stereo litografiju i 3D štampače [1].

Mašine za rezanje izrezuju trodimenzionalne oblike pomoću laserskog zraka. Ovi oblici su dio strukture koja se sastavlja ručno ili pomoću robota. Oblik ovih dijelova je opisan kao serija XY koordinata ili kompleksnih krivih koje slijedi alatka za rezanje. Objekat sa slike 7.1. je sastavljen iz dvodimenzionalnih oblika koji su kreirani odmotavanjem 3D modela odgovarajućim softverom. Ovaj primjer je spojen direktno na kompjuteru pregledom velike kombinacije oblika. Sve ravni na skulpturi su označene brojevima i dimenzijama na ekranu kompjutera. Kada je model potpuno završen, 3D oblici su razmotani u 2D uzorke, nacrtani na stiropor i model je konstruisan. Ovaj model je poslat u livnicu gdje je izraden finalni proizvod [1].



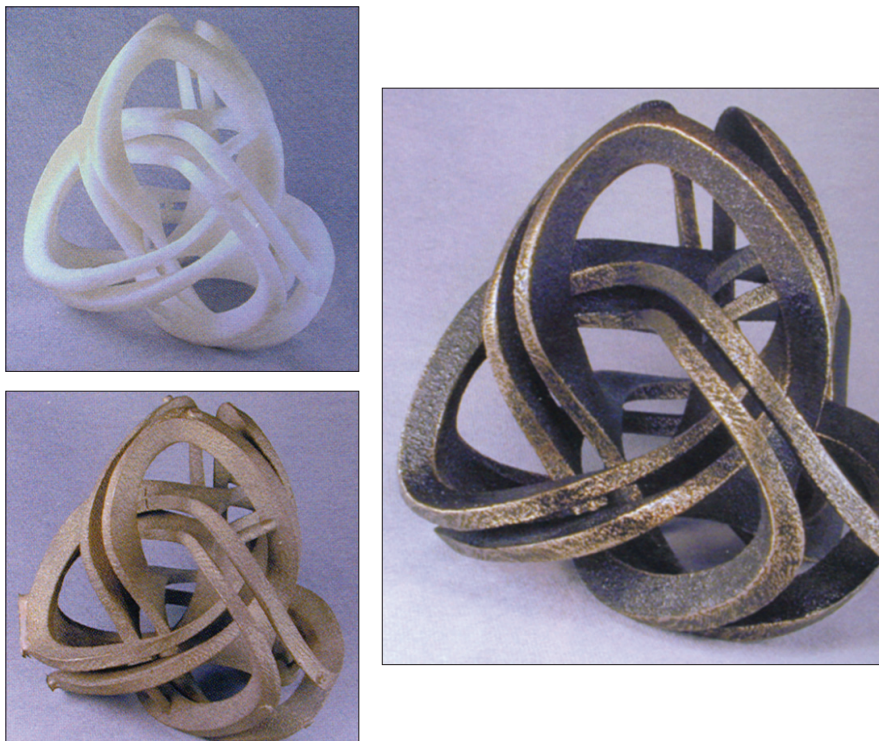
SLIKA 7.1. Objekat napravljen mašinom za rezanje

Mašine za mljevenje (subtractive rapid prototyping) kreiraju objekte od blokova materijala kao što su plastika, drvo ili kamen, postavljajući rotacioni rezač oko njihove površine i pokrećući ga od dna prema vrhu. Kontinuirani pokret rezača po 3 ose rezultira modeliranjem 3D objekta. Pomoću različitih putanja rezača i alatki za sječenje koje se montiraju na glavu rezača može se kreirati mnoštvo različitih objekata. Objekat prikazan na slici 7.2. kreiran je od različitih vrsta voska [1].



SLIKA 7.2.

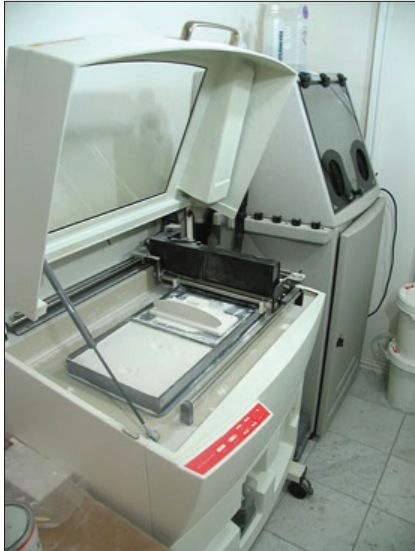
Stereo litografija je proces u kome se tečna plastika oblikuje i učvršćuje pomoću dva kompjuterski kontrolisana laserska zraka. Zraci su okomiti jedan na drugi i kreću se u skladu sa XYZ pozicijama na površini objekta koji je modeliran pomoću softvera. Jedan od zraka je fokusiran na transparentni kontejner naprijed, a drugi sa strane. Tečna plastika se stvrdnjava na mjestu gdje se zraci presijecaju sa tečnošću u kontejneru. Slika 7.3. prikazuje objekat dobijen na ovaj način u procesu od tri koraka [1].



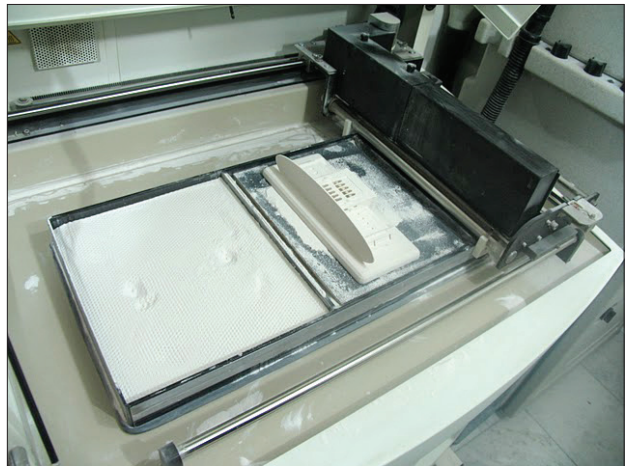
SLIKA 7.3. Objekat dobijen stereo litografijom

Koncept 3D štampe je malo neobičan za većinu korisnika, jer nismo navikli da iz štampača kao produkt izađe 3D objekat. Ovaj način štampe je svoju primjenu našao najviše u industriji razvoja prototipova raznih proizvoda (automobila, mašinskih dijelova, mobitela i sl.), jer nudi efikasan način za analizu i usavršavanje prototipa bez ulaganja u kompletan proces proizvodnje.

Princip rada 3D štampača (slika 7.4.) se sastoji u tome da se 3D model koji se štampa dijeli na veliki broj slojeva, te se svaki od njih štampa da bi se dobio konačni 3D oblik. Ovaj proces se može opisati kroz sljedeće korake:



SLIKA 7.4. 3D štampač ZPrinter 310+ i vazдушna komora



SLIKA 7.5. Dvije komore unutar 3D štampača

1. Fajl sa 3D modelom uvozi se u softver štampača. Model mora biti pripremljen na takav način da nema prekinutih ivica ili drugih vrsta nepravilnosti. Sve normale face-ova moraju "gledati" prema vani, objekat mora biti zatvoren, a usijecanjem punih površina može se uštedjeti na utrošenom prašku.
2. Štampač sadrži dvije komore dubine 35 cm, te omjera stranica 25 x 20 cm (slika 7.5.). Komore su naslonjene jedna na drugu i lijeva, koja je prije početka štampe ispunjena praškom do vrha, služi kao skladište za prašak – materijal od kojeg će biti napravljen model. Ovaj prašak je posebna smjesa plastike i celuloze koja se koristi za "štampanje" objekata. Osjetljiv je na temperaturu i hemijske aditive, koji se koriste kako bi se samo neki dijelovi smjese očvrstnuli i pretvorili u željeni 3D objekat. Pošto je baziran na celulozi, potpuno je neškodljiv za ljude tokom korištenja mašine. Kada se pokrene proces štampe, on se odvija na sljedeći način:
 - prašak se sloj po sloj nanosi u desnu komoru,
 - nakon svakog prenošenja preko njega prelazi glava printera i nanosi providni sloj tečnosti - bindera, koji djeluje kao lijepak. Debljina sloja se može podešavati između 0,089 i 0,203 mm, od čega zavisi preciznost dobijenog modela. Osim nanošenja lijepka, glava vrši i njegovo zagrijavanje
 - dno desne komore se potom malo spusti, a lijeve podigne i proces se ponavlja dok svi slojevi nisu odštampani

3. Preostali prašak koji se još nije očvrstnuo uklanja se sa objekta pomoću četkice, a ostaci u vazdušnoj komori (slika 7.4.). Ona se sastoji od usisivača i kompresora za zrak, te se puhanjem vazduha pod pritiskom prašak istjeruje iz najsitnijih pora objekta. Komora je zatvorena, a usisivač služi da usisa sav skinuti prašak, jer se on može poslije reciklirati.
4. Gotovi objekti, koji mogu biti vrlo kompleksni, odmah po vađenju iz štampača su krhki, te nakon “ispuhivanja” u komori trebaju da se suše više sati. Nakon toga ih treba dodatno obraditi, jer je površina lagano hrapava. Zbog toga se objekti premazuju epoksinim slojem koji će ih dodatno očvrstnuti i zaštititi od vanjskih utjecaja. Gotovi objekti podnose temperaturu do 1000 C.

3D štampači mogu štampati objekte i u boji, kao npr. štampač ZPrinter 450 (slike 7.6. i 7.7.). Također, umjesto praška može se koristiti i materijal koji proizvodi elastične finalne objekte.

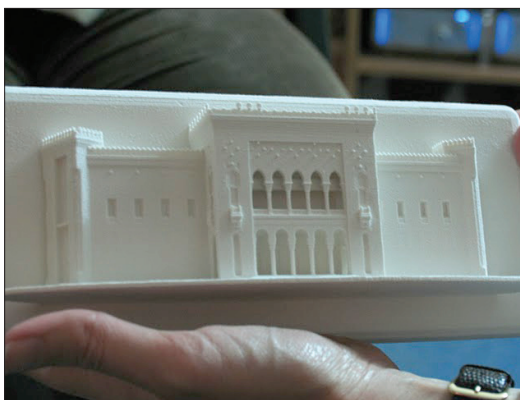


**SLIKA 7.6. 3D štampač u boji
ZPrinter 540**



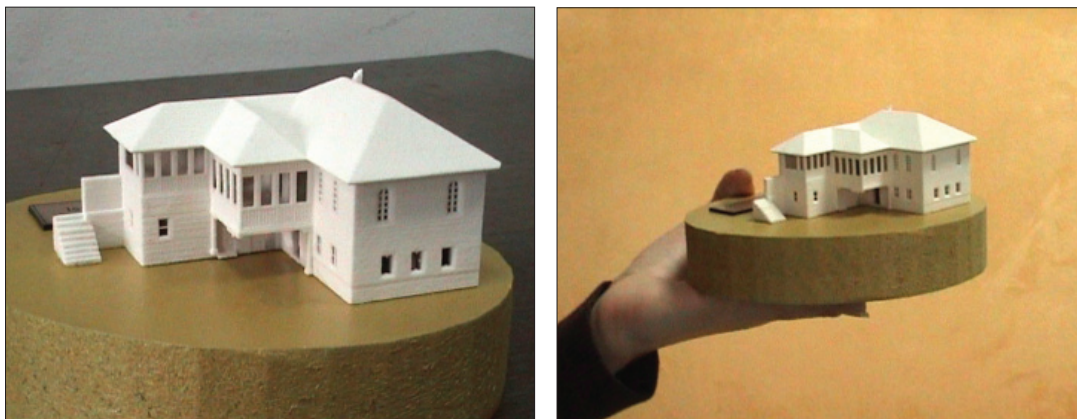
SLIKA 7.7. 3D print u boji

Iskustva sa 3D štampom imali smo i u našim projektima digitalizacije kulturnog naslijeđa. Pomoću štampača ZPrinter 310+ izvršili smo probne štampe modela Vijećnice i laserski skeniranog stečka (slika 7.8.).



SLIKA 7.8. Probne štampe 3D modela objekata kulturnog naslijeđa

Vanjski model Isa-begove tekije [52] je isprintan pomoću ZPrinter 310+ 3D printera. Dimenzije makete su 9,5 x 7 x 4,5cm (slika 7.9.). Print je izvršen iz VRML verzije modela. Veoma dobar kvalitet printa dao nam je ideju za kreiranje prototipa za izradu suvenira. U planu je i maketa većih razmjera koja će biti kreirana u drugoj fazi projekta.



SLIKA 7.9. 3D štampa Isa-begove tekije

Model crkve Sv. Trojice u Mostaru [54] kreiran u Maya softveru, eksportovan je u OBJ format i importiran u Materialise Magics softver, gdje su površine modela analizirane i pripremljene za 3D štampu. Finalna verzija modela crkve je zatim eksportovana u stl format. Fizički model je kreiran pomoću monohromatskog 3D printera Z Corporation ZPrinter 310+, koji je “izrezao” stl CAD fajl u hiljade tankih slojeva, koristeći 300x450 rezoluciju štampe. Proces 3D štampe trajao je 4 sata, a postprocesiranje (impregnacija) 2 sata, tako da je maketa bila gotova za oko 6 sati (slika 7.10.).



SLIKA 7.10. Maketa crkve Sv. Trojice u Mostaru kreirana 3D štampom

U sklopu projekta “Multimedijalna prezentacija i 3D štampa Saborne crkve u Sarajevu”, kreirali smo prototip za izradu suvenira (slika 7.11.) tako što smo izvršili 3D štampu modela pripremljenog u 3ds max-u. Model je štampan Z-Corp-ovim printerom Spectrum Z510. Postupak printanja je trajao oko 6 sati, a postupak čišćenja i učvršćivanja modela oko 4 sata.



SLIKA 7.11. Prototip za izradu suvenira, Saborna crkva u Sarajevu

8

Kompjuterska grafika u digitalizaciji kulturnog naslijeđa

8.1. Uvod

Digitalizacija kulturnog naslijeđa je veoma važna za Bosnu i Hercegovinu. Nedavna tragična ratna zbivanja su pokazala da kulturni spomenici mogu nestati u trenu i da, ako nema dokumentacije o njima, fizička rekonstrukcija može biti mukotrpana, čak i nemoguća. Digitalno kulturno naslijeđe čuva originalni oblik objekata za buduće generacije. Ono je također i osnova za multimedijalnu prezentaciju jednog naroda, kulture ili religije cijelom svijetu [35].

Sarajevo Graphics Group se sastoji od istraživača iz kompjuterske grafike sa Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu i Sarajevske škole za nauku i tehnologiju. Ova dva fakulteta rade na iscrpnom istraživanju digitalizacije i multimedijalne prezentacije bosanskohercegovačkog materijalnog i nematerijalnog kulturnog naslijeđa. U ovom poglavlju će biti predstavljen njihov istraživački put od prvog projekta virtuelne rekonstrukcije sarajevske Vijećnice, preko poznatog Virtuelnog Sarajeva, do najnovijih projekata Isa-begove tekije u Sarajevu i Crkve Sv. Trojice u Mostaru.

Muzeji su mjesta gdje posjetioci uče o istoriji kroz odabrane eksponate. Međutim, objekti su obično tako postavljeni da ih se može vidjeti samo sa jedne strane. Dok u muzeju ne možemo uzeti objekat u ruku i razgledati sve njegove detalje, u virtuelnom muzeju je to moguće. Također je moguće pogledati digitalnu priču o objektu, njegovoj upotrebi i istoriji. Virtuelni muzej BH tradicionalnih predmeta i Digitalni katalog stećaka, kao primjeri takvog koncepta, biće prezentirani u ovom poglavlju.

8.2. Prvi projekti digitalizacije

Sarajevska Vijećnica je sagrađena tokom vladavine Austro-Ugarske Monarhije u pseudo-maurskom stilu. Njena gradnja je završena 1894. godine. Od 1945. u njoj se nalazila Narodna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine. Potpuno je uništena u augustu 1992. godine, a sa njom i oko 80% knjižnog fonda. Današnji izgled Vijećnice prikazan je na slici 8.1a.

Prvi projekat virtualne rekonstrukcije objekta pomoću tehnika kompjuterske grafike bio je diplomski rad našeg studenta Vedada Hulusića i u sklopu tog rada je kreiran interaktivni 3D model Vijećnice (slika 8.1b). Model i njegovo okruženje su kreirani u 3ds max softveru i izvezeni u VRML format, koji je omogućio virtuelnu šetnju putem Interneta [46].



SLIKA 8.1. Vijećnica danas i virtuelni model

Digitalna priča o Vijećnici bila je osnova za naše istraživanje percepcije informacije u virtuelnim okruženjima [47]. Rezultati su pokazali da korisnici imaju bolju percepciju informacije kada je saopćava živi čovjek, nego u slučaju animiranog avatara.

Cilj projekta Virtualno Sarajevo [48] je prezentacija starog dijela grada posjetiocima putem Interneta. Ova prezentacija sadrži panoramske fotografije grada, video prolaze kroz ulice, digitalne priče o objektima i događajima i interaktivne 3D modele objekata kulturnog naslijeđa (Slika 8.2.). Kreirani su 3D modeli sljedećih objekata: Baščaršija, Begova džamija, Bezistan, Bijela tabija, Brusa bezistan, Katedrala, Kovači, Zemaljski muzej, Stara pravoslavna crkva, Sahat kula, Sinagoga, Stećak, Vijećnica i Žuta tabija.



SLIKA 8.2. Modeli objekata kulturnog naslijeđa u projektu Virtualno Sarajevo

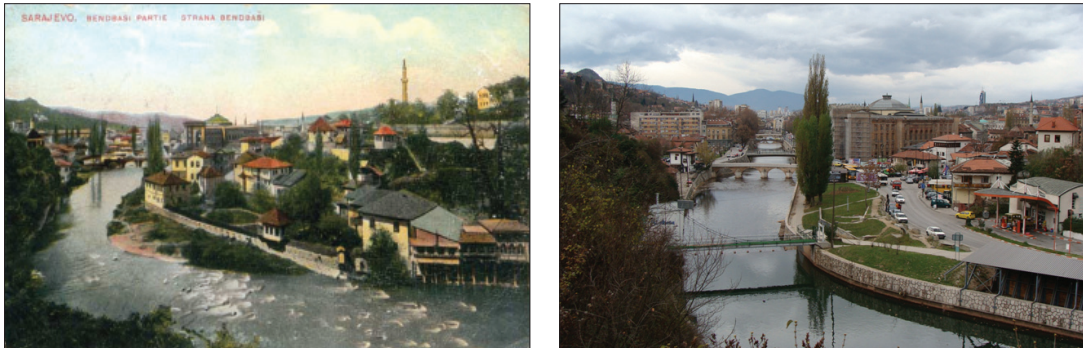
8.3. Virtualna rekonstrukcija Isa-begove tekije u Sarajevu

Riječ “tekija” potiče od arapske riječi takkiya, koja znači “nasloniti se” ili “biti podržan”, pa tako takkiyya označava “mjesto ili stvar na koju se oslanja, gde se odmara”. Tekija označava građevinu koja pripada skupini islamskih vjernika, sufija, u kojoj se oni okupljaju oko šejha i obavljaju svoj obred. Isa-begova tekija je jedna od najznačajnijih tekija u Sarajevu (slika 8.3a). Sagrađena je prije 1462. godine i predstavlja jednu od najstarijih ustanova u Sarajevu. Isa-beg Ishaković, utemeljitelj Sarajeva, je navodi u svojoj zakladnici (vakufnami) iz 1462. godine i spominje, osim drugih imanja, musafirhanu i imaret uz nju [49].

Lokacija same Isa-begove tekije nije slučajno izabrana. Naime, tekije su se inače uvijek gradile u prirodnom okruženju i potpuno otvorene prema njemu. Rijeka, stijena, klanac ili kanjon te brdo, najčešće su oznake mjesta na kojima se tekije podižu, što je slučaj sa ovom tekijom. Same sufije su mišljenja da taj izbor nije ljudski. Sveto mjesto bira Bog i kao takvog ga pokazuje ljudima. Krajolik je dio obrednog postupka i zato i dio tekije.

Isa-begova tekija je više puta popravljena, rušena u požarima i poplavama i svaki put nakon rušenja potpuno obnavljena. Godine 1957. tekija je posljednji put srušena, a groblje uništeno.

Razaranje tekijskog prostora je nastavljeno izgradnjom saobraćajnice prema Palama, nezakonite benzinske pumpe, ugostiteljskih i drugih objekata (slika 8.3b).



SLIKA 8.3. Lokacija Isa-begove tekije prije i poslije razaranja

Virtuelna rekonstrukcija Isa-begove tekije sastoji se od 3 modela: vanjski izgled objekta sa okruženjem i dvije unutrašnje prostorije. Modeli su kreirani u nekoliko koraka. Najprije je prikupljen materijal, zatim modelirani objekti, kreirane i mapirane teksture, kreirano osvjetljenje scena, okruženje, postavljene kamere i izvršen eksport scena u VRML web 3D tehnologiju [50], [51].

Eksportom u VRML modeli su postali interaktivni (Slika 8.4.). Korisnici se mogu kretati po okruženjima pomoću VRML browser-a, besplatnog programa koji se instalira kao dodatak na Internet browser. Interaktivnost povećava imerziju korisnika u virtuelno okruženje. Korisnici “ulaze” u objekat klikom na glavna vrata. U tom momentu u browser se učitava jedan od unutrašnjih modela (hodnik). Ova tranzicija je implementirana pomoću VRML Anchor noda, koji služi kao hyperlink u VRML-u i otvara fajl naveden u jednom od njegovih polja.

Anchor nodovi se također koriste za dodavanje informacija pojedinim dijelovima okruženja. Npr, ubacili smo objekat u obliku slova “i” (info nod) pored nadgrobnih spomenika ispred tekije i dodijelili ga Anchor nodu. Kada korisnik klikne na ovaj objekat, otvara se novi prozor koji sadrži priču o ljudima koji su tu sahranjeni. Sličan info nod se nalazi u unutrašnjoj prostoriji, tzv. divan odaji, sadržavajući informaciju šta je to “levha” (kaligrafski ispisan stih iz Kur’an-a). Zidovi unutrašnjih prostorija u tekijama su uvijek ukrašeni levhama.



SLIKA 8.4. Vanjski model Tekije u VRML browser-u

Web prezentacija prve faze projekta Isa-begova tekija je napravljena na bosanskom i engleskom jeziku [52]. Home stranica citira stihove Mevlane Dželaludina Rumija (slika 8.5.), filozofa i mistika Islama, čija doktrina zagovara neograničenu toleranciju, pozitivno rezonovanje, dobrotu, dobrotvorstvo i ljubav. Za njega i njegove sljedbenike sve religije su istina. Isti odnos prema muslimanima, kršćanima i jevrejima i njegovo miroljubivo i tolerantno učenje privuklo je mnoge ljude širom svijeta.



SLIKA 8.5. Dizajn web prezentacije

Osim 3D modela tekije kroz koji se korisnik može virtuelno kretati, web prezentacija nudi i mnoštvo podataka o religijskoj i istorijskoj važnosti ovog objekta. Tekstovi su uglavnom citirani iz [53] i nekih drugih izvora. Svrha ovih podataka je da informišu prosječno obrazovanog korisnika o objektu i njegovoj važnosti. Tu su također i dvije galerije slika, jedna sa starim slikama i crtežima, a druga sa renderovanim slikama modela.

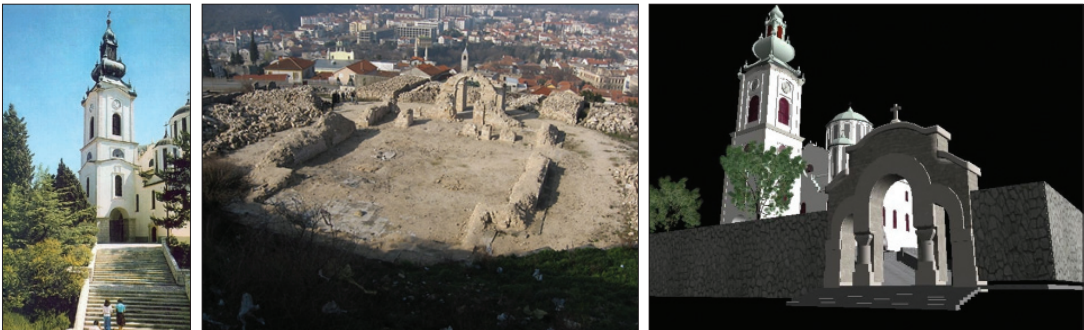
Prva faza projekta Isa-begove tekije imala je nevjerovatno i neočekivano pozitivan odziv u bosanskohercegovačkoj javnosti. Mnogi građani Sarajeva su otkrili ovaj istorijski važan objekat tek nakon posjete našem web sajtu. Reakcija javnosti bila je izuzetno emotivna. Imali smo nekoliko intervjua u medijima gdje smo pozvali ljude koji bi se mogli sjećati izgleda Tekije da nam se jave, jer nam trebaju svo mogući podaci o objektu. Ovi kontakti su nam obezbijedili dragocjene materijale za drugu fazu projekta.

Isa-begova tekija je bila dio kompleksa objekata, koji je sagrađen u jedinstvenom prirodnom okruženju. Mnogi objekti iz ovog kompleksa nisu imali samo vjerski karakter, nego također i humanitarni. Tu je postojala “musafirhana” – utočište za putnike, koji su tu mogli besplatno odsjesti i “imaret” – javna kuhinja, gdje je besplatno pripremana i služena hrana.

Druga faza projekta će se fokusirati na simboliku objekata, gdje svaki detalj ima dublje značenje. Uvešćemo virtualne vodiče koji će pričati priče o objektu i njegovoj historiji korištenjem tehnika digital storytellinga. Krajnji cilj je kreiranje paviljona u Muzeju Sarajeva koji bi bio posvećen Tekiji. Ovaj paviljon bi sadržao interaktivni 3D model cijelog kompleksa prikazan na touchscreen displeju, po kome se posjetilac može virtualno prošetati. Tu bi bila i maketa većih razmjera kreirana 3D štampom modela. Na originalnoj lokaciji Tekije stajala bi ploča koja bi pozivala ljude u Muzej da vide rekonstrukciju najstarije institucije u Sarajevu, koja je tu nekada postojala.

8.4. Virtuelna rekonstrukcija Crkve Sv. Trojice u Mostaru

Crkva Sv. Trojice u Mostaru imala je veliki značaj za Bosnu i Hercegovinu, kao vjerski, ali i kao objekat kulturnog naslijeđa. Njena dominirajuća pozicija, veličina i izgled, činili su je jednim od najljepših i najvažnijih pravoslavnih hramova na Balkanu (slika 8.6a). Ova crkva je potpuno uništena u junu 1992. godine (slika 8.6b).



SLIKA 8.6. Crkva prije destrukcije, sadašnji izgled i virtualni model

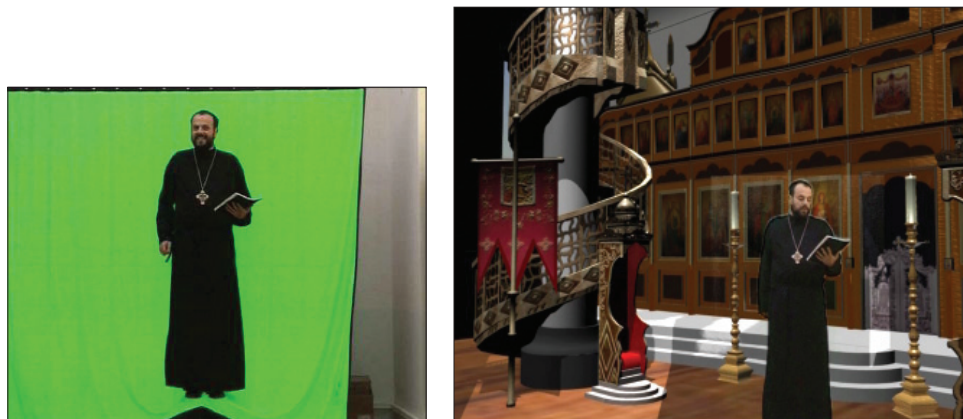
Virtuelna 3D rekonstrukcija Crkve uključuje kreiranje visokokvalitetnog interaktivnog 3D modela (slika 8.7c), multimedijalne web prezentacije sa mogućnošću virtualne šetnje kroz model, multimedijalnog DVD-a, 3D printa modela i digitalne priče.

3D model Crkve je kreiran u Maya softveru. Modeli vanjskog i unutrašnjeg dijela objekta su odvojeni zbog veličine fajlova. Najveći problem koji smo imali u toku modeliranja je nedostatak ulaznih podataka. Imali smo samo nekoliko fotografija lokalnog fotografa Ćire Raića napravljenih prije destrukcije objekta, tako da je bilo nemoguće kreirati detalje enterijera. Zbog toga smo (uz odobrenje predstavnika Pravoslavne crkve) kao referencu koristili Sabornu crkvu u Sarajevu, koju je projektovao isti arhitekt. Ikone iz te crkve smo stavili na rekonstrukciju ikonostasa, a ostale objekte u unutrašnjosti smo kreirali na bazi sličnih iz Saborne crkve. Slika 8.7. prikazuje screenshot-ove vanjskog i unutrašnjeg modela.



SLIKA 8.7. Vanjski i unutrašnji model

Ovi modeli su eksportovani u x3D web tehnologiju i obogaćeni virtualnim vodičima koji pričaju o crkvi i njenoj istoriji. Vodiči su ljudi uslikani na zelenom ključu (slika 8.8a) i dodati u x3D fajlove kao PNG sekvence pomoću skript koda [54]. Korisnici mogu šetati kroz virtualna okruženja pomoću x3D browser-a i gledati i slušati vodiče i njihove priče (slika 8.8b).



SLIKA 8.8. Virtualni vodič: a) na zelenom ključu, b) dodat u virtualno okruženje

Da bismo pokazali visokokvalitetni model sa svim detaljima, kao i da bi korisnik stekao potpunu audiovizualnu informaciju o crkvi i njenoj destrukciji, kreirali smo digitalnu priču. Korisnici koji nemaju vremena da se kreću po interaktivnom modelu mogu pogledati ovaj film u Flash formatu.

Digitalna priča o Crkvi Sv. Trojice u Mostaru je urađena koristeći iste storytelling tehnike kao kod priča iz projekta Virtualno Sarajevo [55]. Koristili smo fotografije crkve prije uništenja, amaterski snimak uništenja i visokokvalitetne rendere naših modela. Vodiči su dodati na renderovane slike tehnikom compositinga. Zvuk se sastoji od glasova naratora, tradicionalne pravoslavne crkvene muzike i nekih originalnih kompozicija. Također smo koristili i zvučni efekat eksplozije kao ilustraciju momenta uništenja ostataka crkve, jer jer objekat bio prvo zapaljen, a onda su ostaci uništeni eksplozivom. Finalna sekvenca je eksportovana u Flash Video format i linkovana na web prezentaciju.

Svi spomenuti elementi virtualne rekonstrukcije su prezentirani kroz multimedijalni web sajt. Namjera web prezentacije je bila da se prikažu sve dostupne informacije o istoriji crkve i njenoj destrukciji, da bi se što više ljudi upoznalo sa njenom važnošću, na taj način promovirajući njenu stvarnu rekonstrukciju (slika 8.9.).

Web sajt sadrži: široki opseg informacija o istoriji crkve, zajedno sa rijetkim fotografijama njenog originalnog izgleda; amaterski snimak destrukcije (ustupljen za potrebe projekta od



SLIKA 8.9. Web prezentacija, home stranica

strane RTRS); fotografije ruševina crkve; galeriju najvažnijih ikona; 3D model u x3D formatu sa virtualnim vodičima; digitalnu priču sa visokokvalitetnim renderima modela i dodatim virtualnim vodičima. Ova prezentacija je dostupna i u DVD formatu za offline upotrebu.

Osim njegovih kulturnih i tehničkih aspekata, ovaj projekat je imao i značajan uticaj na bosanskohercegovačko društvo, koje se još uvijek oporavlja od agresije i genocida 90-tih godina. Javnost u Bosni i Hercegovini je primila projekat sa ekstremno dobrim odzivom. Promocija projekta je pobudila veliku pažnju javnosti. Priče o projektu su objavljene u nekoliko glavnih BH novina i Internet portala i emitovane na dvije najveće TV stanice (BHT1 i TV Hayat). Pravoslavna vjerska zajednica je zahvalna na ideji i pružila nam je svu potrebnu pomoć i podršku.

Projekat je imao multietnički karakter jer je većina istraživača Bošnjacke nacionalnosti, a radi se o objektu koji pripada pravoslavnoj religiji. To na neki način odražava zdravi duh Bosne i Hercegovine koji je trebao biti uništen u toku rata. Ovaj projekat pokazuje da možemo i hoćemo raditi zajedno na očuvanju i oživljavanju našeg zajedničkog kulturnog naslijeđa. On upućuje važnu poruku za opstanak i razvoj našeg društva na bazi međusobnog poštovanja i saradnje između različitih nacija i religija. Nakon tragičnih ratnih dešavanja nema mnogo ovakvih projekata i percepcija javnosti nam daje nadu u budućnost naše zemlje.

8.5. Virtualni muzej BH tradicionalnih predmeta

Muzej Sarajeva osnovan je 1949. godine sa ciljem prikupljanja, proučavanja, očuvanja, publikovanja i prezentacije socijalne, ekonomske i kulturne istorije Sarajeva, od njegovih najranijih dana do danas. Muzej posjeduje devet tematskih kolekcija, biblioteku i foto arhiv. Tokom opsade Sarajeva 1992-1995, muzejski eksponati su spašeni zahvaljujući njegovim zaposlenim, koji su u izuzetno teškim uslovima prebacili kolekcije u jevrejsku sinagogu. U prošlom pola stoljeća Muzej je razvio sljedeće depandanse: Svrzina kuća, Despića kuća, Muzej sarajevskog atentata, Muzej Jevreja i Brusa bezistan. Također je osnovano devet tematskih kolekcija: arheološka, orijentalna, etnografska, jevrejska, austrougarska i umjetnička, zajedno sa memorijalnom zbirkom Stjepana Meze, zbirkom 20-tog stoljeća i pomoćnom zbirkom.

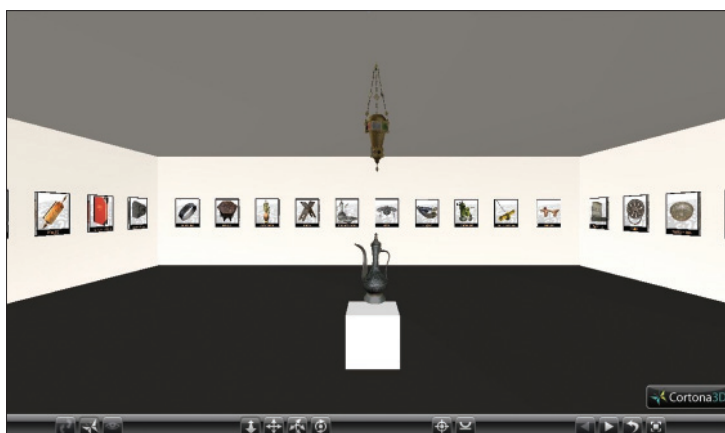
Elektrotehnički fakultet Sarajevo kroz predmet Računarska grafika i naučnoistraživački rad iz ove oblasti realizira projekte vezane za virtualnu rekonstrukciju, digitalizaciju i multimedijalnu prezentaciju materijalnog i nematerijalnog kulturnog naslijeđa [56], [46], [57], [58], [59], [41], [55], [50]. U okviru osnovnog predmeta iz kompjuterske grafike, koji se predaje na III godini Odsjeka za računarstvo i informatiku, organizovali smo laboratorijske vježbe na kojima su studenti kreirali digitalnu kolekciju odabranih eksponata iz Muzeja Sarajeva. Proizvod tog rada biće opisan u nastavku.

U okviru predmeta Računarska grafika studenti treba da steknu znanja o osnovama grafičkog dizajna, kompozicije kadra, gramatike filmskog jezika, tehnikama 3D modeliranja i web tehnologijama. Od njih je zahtijevano da svoje znanje pokažu kroz kreiranje digitalnog sadržaja za projekat Virtualnog muzeja. Naši partneri, kustosi iz Muzeja Sarajeva, odabrali su grupu najvažnijih i najpogodnijih predmeta i svaki student je dobio zadatak da sastavi kratki tekst o predmetu, da napravi digitalne fotografije predmeta, film o njegovoj upotrebi i 3D model.

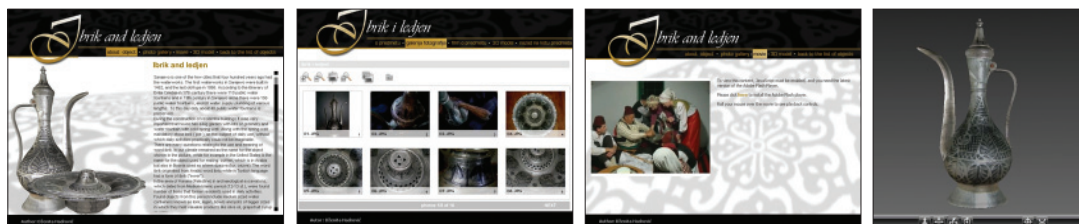
Digitalni sadržaj je objedinjen u web prezentaciju [60], koja počinje sa home stranicom, gdje korisnik odabira jezik, ulazi u prvo virtualno okruženje muzeja (slika 8.10) i kreće se unaokolo,

posmatrajući panele na zidovima koji predstavljaju objekte. Nakon klika na svaki panel, otvara se novi prozor i prikazuje stranicu sa informacijama o objektu, koja sadrži linkove na foto galeriju, film i 3D model (slika 8.11.).

Cilj ovog projekta je da pokaže tehnike digitalizacije kulturnog naslijeđa i da prezentira naše kulturno naslijeđe na Internetu. Projekat je linkovan na web stranicu Muzeja i može se posjetiti sa bilo kojeg mjesta na svijetu. Offline verzija je snimljena na DVD i ponuđena posjetiocima Muzeja kao suvenir. Planiramo da instaliramo kopiju digitalnog sadržaja i na touchscreen displej u samom Muzeju, kako bi posjetioci mogli pogledati objekte sa svih strana i naučiti nešto detaljnije o njima.



SLIKA 8.10. Centralno virtualno okruženje



SLIKA 8.11. Virtualni eksponat ibrik: a) tekst, b) fotografije, c) film, d) interaktivni 3D model

8.6. Digitalni katalog stećaka

U okviru predmeta Numerička grafika i animacija, studenti Masters studija ETF-a Sarajevo uče 3D modeliranje tehnikom fotogrametrije. Ova tehnika podrazumijeva kreiranje 3D modela objekta iz njegovih fotografija primjenom softvera Photomodeler. Model generisan na ovaj način se dalje doradjuje u 3ds max-u da bi se postigao što realističniji izgled (slika 8.12a) [35].

U okviru laboratorijskih vježbi iz ovog predmeta, svaki student je imao zadatak da modelira po jedan objekat iz kolekcije stećaka i sličnih objekata iz botaničkog vrta Zemaljskog Muzeja BiH ili izložbe ispred ulaza ili neki odgovarajući sličan objekat iz postojećih zbirki. Finalni proizvod je interaktivni katalog gdje se klikom na šematski prikaz izložbe otvara web sajt pojedinog objekta sa 3D modelom koji se može okretati i razgledati korištenjem odgovarajućeg softvera (slika 8.12b).

Interaktivni katalog je dostavljen Zemaljskom muzeju u formi DVD-a, koji Muzej može distribuirati kao suvenir. Ova aplikacija se može postaviti i na touch panel displej u okviru Muzeja na raspolaganje posjetiocima, a već se nalazi na Internetu linkovana na web sajt Muzeja (slika 8.12c) [61].

Prednost ove metode digitalizacije je u značajno nižoj cijeni od laserskog skeniranja. Naravno, ovaj metod se ne može uvijek primijeniti jer je potrebno da objekat ima takav položaj da mu je moguće prići kamerom sa svih strana. U narednim projektima koristićemo kombinaciju laserskog skeniranja sa ovim metodom digitalizacije.



SLIKA 8.12. a) realistični model kamene stolice, b) web prezentacija jednog objekta, c) home stranica digitalnog kataloga

8.7. Zaključak

Naši projekti su pokazali da tehnike kompjuterske grafike i 3D tehnologije mogu biti korištene kao efikasno sredstvo za digitalizaciju kulturnog naslijeđa. Uspjeli smo da oživimo objekte koji više ne postoje i skrenemo pažnju javnosti na njihovu važnost. Naši projekti promoviraju kulturno naslijeđe Bosne i Hercegovine preko Interneta cijelom svijetu. Sada imamo digitalne arhive kulturnog naslijeđa kao zalag za buduće generacije.

Projekti koje smo uradili su samo početak ogromnog posla na digitalizaciji i multimedijalnoj prezentaciji bosanskohercegovačkog kulturnog naslijeđa. Naš budući rad će se proširiti i na nematerijalno naslijeđe, kao što su narodne pjesme, priče, melodije, zanati i običaji. Uvešćemo digital storytelling kao metodologiju za digitalizaciju nematerijalnog naslijeđa. Pokušaćemo da napravimo naša virtualna okruženja još efikasnijim za pregledanje reducirajući veličinu fajlova i istražujući različite formate za prezentaciju. Nadamo se da će naš rad učiniti buduće generacije svjesnim svojih korijena i svoje istorije [62].

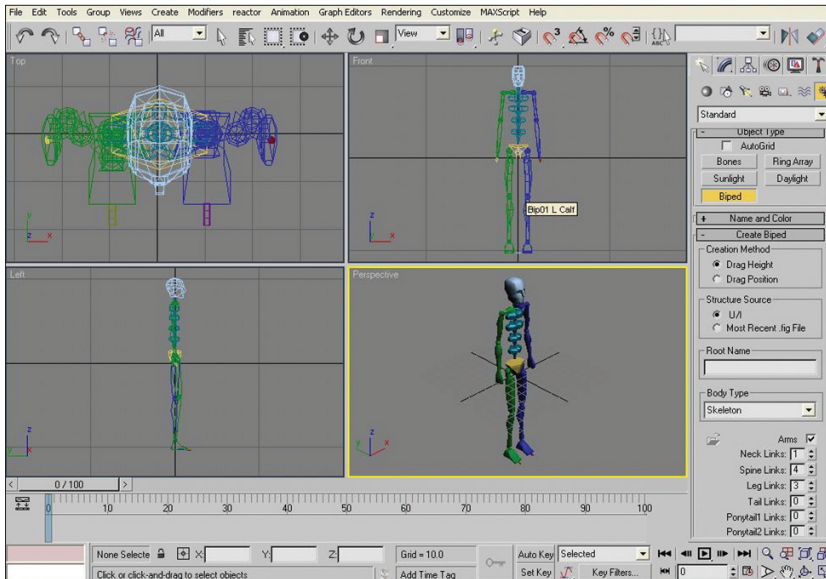
9

Vježbe

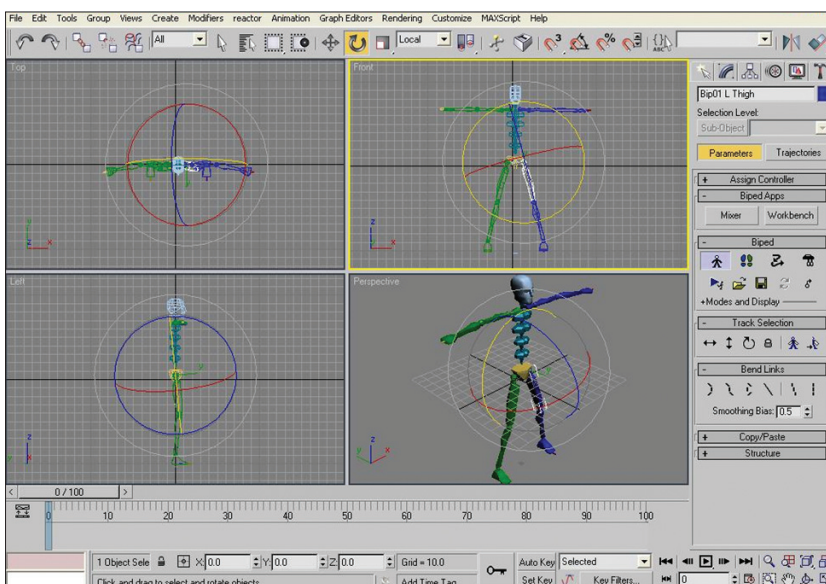
9.1. Animacija pokreta – Biped

3ds max omogućava rigovanje i animiranje lika koristeći već gotovu konstrukciju koja radi na principu inverzne kinematike. Ova konstrukcija se naziva Biped. Ona se može dodijeliti bilo kojem 3D modelu lika koji ima odgovarajuću geometriju. Kreiranje animacije pokreta pomoću Biped-a objašnjeno je u ovoj vježbi.

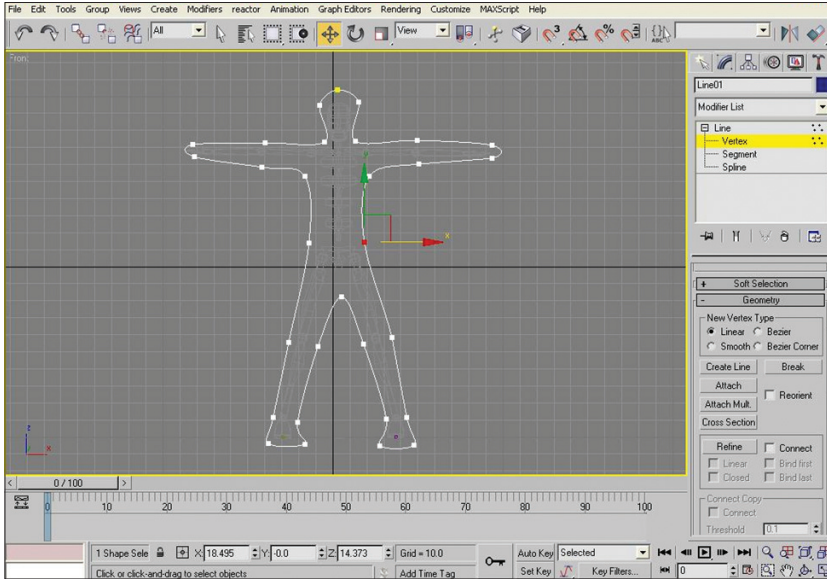
1. Odaberi Create->Systems->Biped i razvuci Bipeda u Front prozoru.



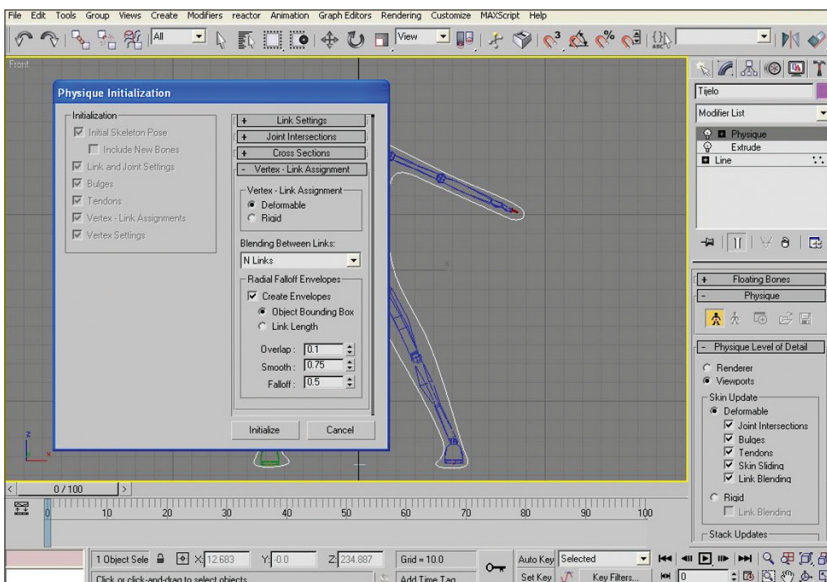
2. U Motion panelu odaberi Biped Figure mode, selektuj gornje dijelove ruku i nogu i zarotiraj kao na slici.



3. Selektuj bipeda i zaledi sa sa desni klik -> Freeze selection.
4. Oko Bipeda nacrtaj liniju koja će predstavljati outline njegovog tijela. Liniju crtajte sa Create->Shapes->Line, Initial type Smooth, Drag Type Bezier. Vertekse linije možete prilagoditi sa Modify, Vertex, Move, desni klik na verteks, izabrati Bezier i prilagoditi tangente.

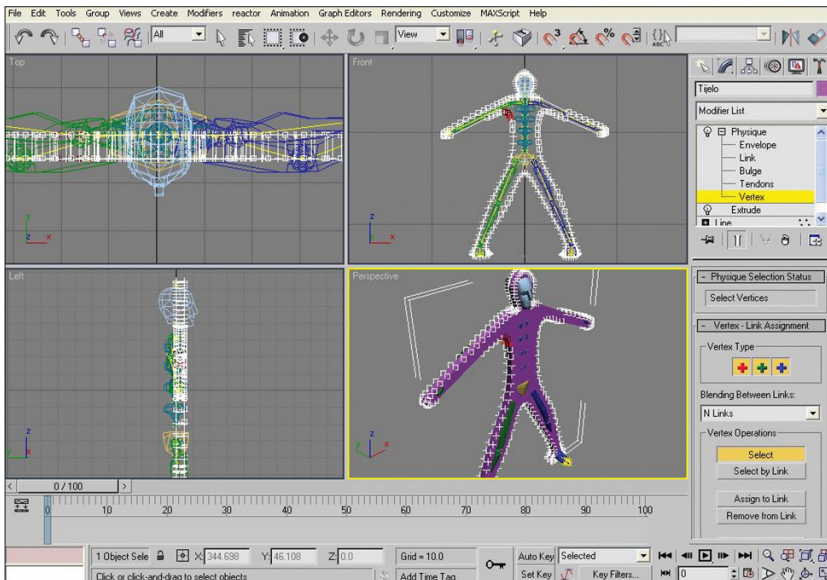


5. Dodati liniji modifikator Extrude, Amount 5. Nazvati objekat Tijelo. Pomaknuti ga tako da Biped bude u sredini.
6. Kliknuti na meni u desnom dijelu ekrana, Display ->Freeze-> Unfreeze All
7. Dodati tijelu Physique modifikator. Kliknuti na Attach to node dugme na Physique modifikatoru i na Pelvis nod Bipeda. Pojavljuje se prozor za inicijalizaciju. Kliknuti na Initialize.

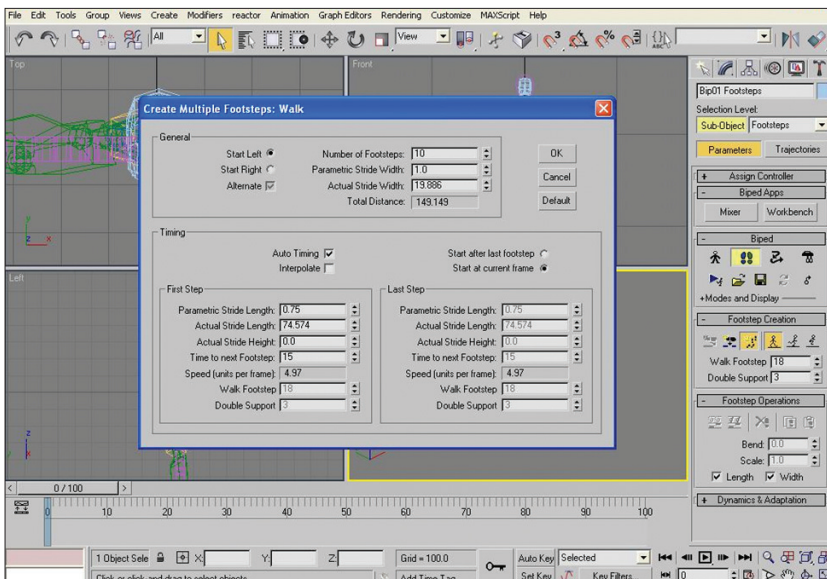


Sada je tijelo povezano sa Biped konstrukcijom.

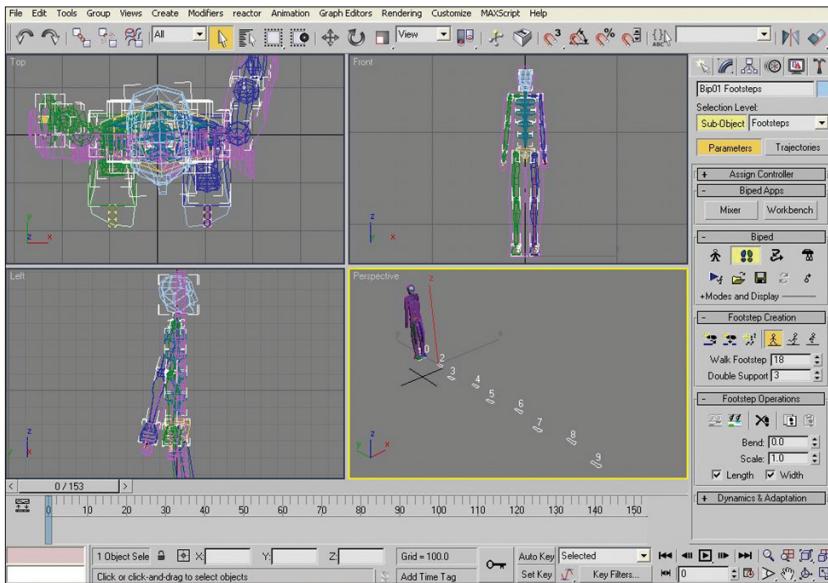
- Da bi se prilagodila ova veza pokušajte micati pojedine dijelove Bipeda, i ako primijetite da se vrhovi na tijelu ne pomiču zajedno sa njima, napravite korekciju na sljedeći način. U Physique modifikatoru izaberite podnivo Vertex. Kliknite na Select i izaberite vertekse koji se ne pomiču sa Bipedom. Kliknite na Assign to link i zatim na najbliži link Bipeda. Verteksi se pomiču. Kliknite na Lock Assignments.



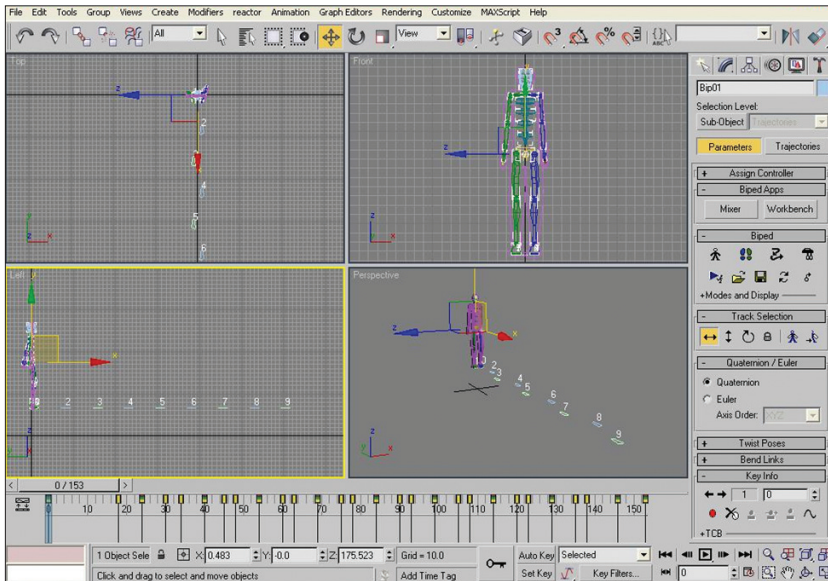
- U Motion panelu izaberite Biped Footsteps, Create Multiple Footsteps. U prozor koji se pojavi ukucajte broj koraka i njihove parametre i kliknite na ok.



Prikazuju se otisci koraka. Kliknite na Create Keys for Inactive Footsteps.

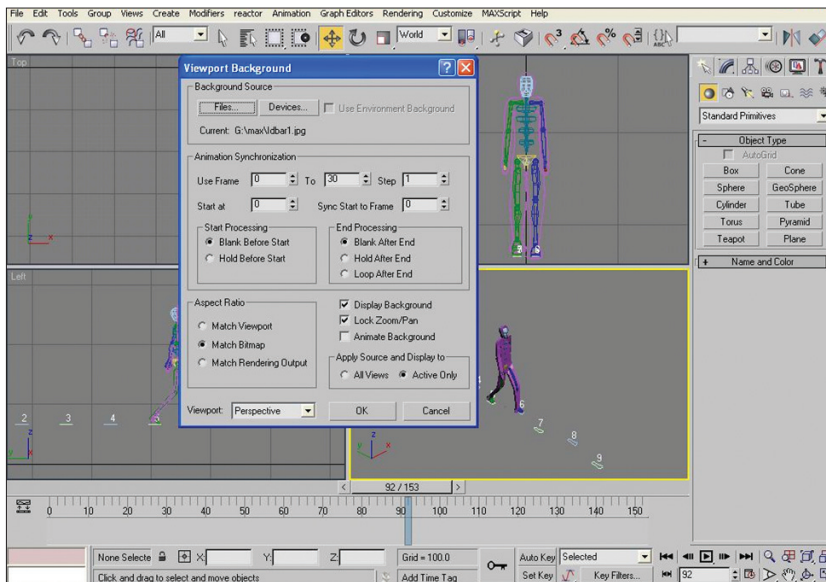


Kada kliknete na Play, tijelo hoda. Nakon izlaska iz Footsteps moda, mogu se vidjeti key frame-ovi pokreta Bipedata i tijela.



Ovi key frame-ovi se mogu prilagođavati i dodavati pokreti glave, ruku, itd.

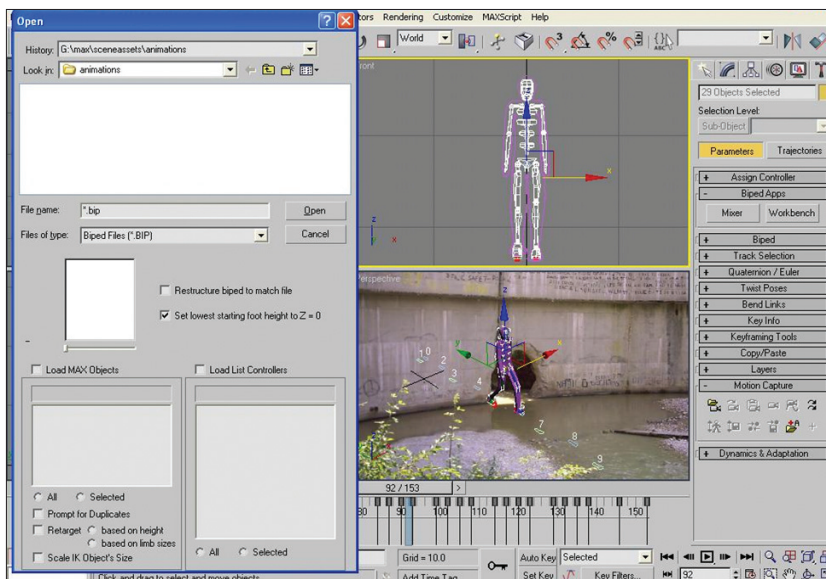
10. Odaberite Views->Viewport Background. Učitajte background sliku i kliknite na Match Bitmap i Lock Zoom/Pan.



U Backgroundu se prikazuje odabrana slika.

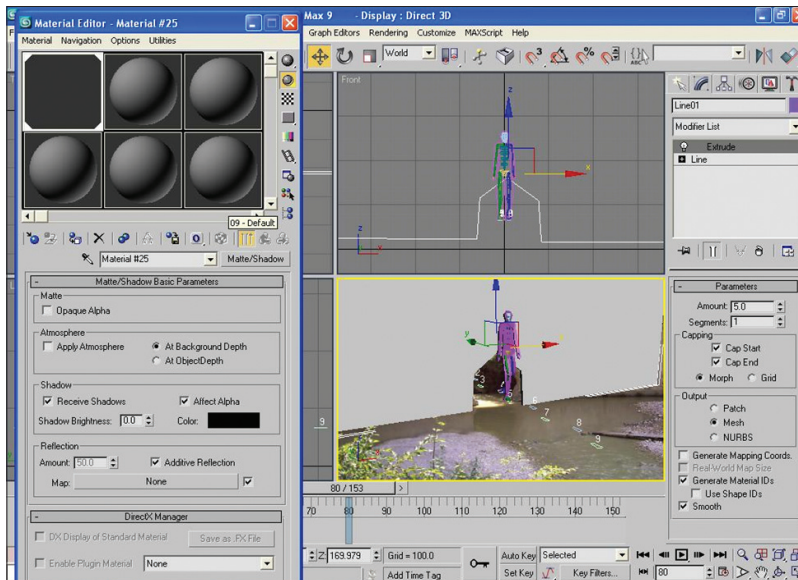
Uvoz motion capture pokreta

Sa selektovanim Bipedom u Motion Panelu odaberi Motion Capture->Load Motion Capture file.

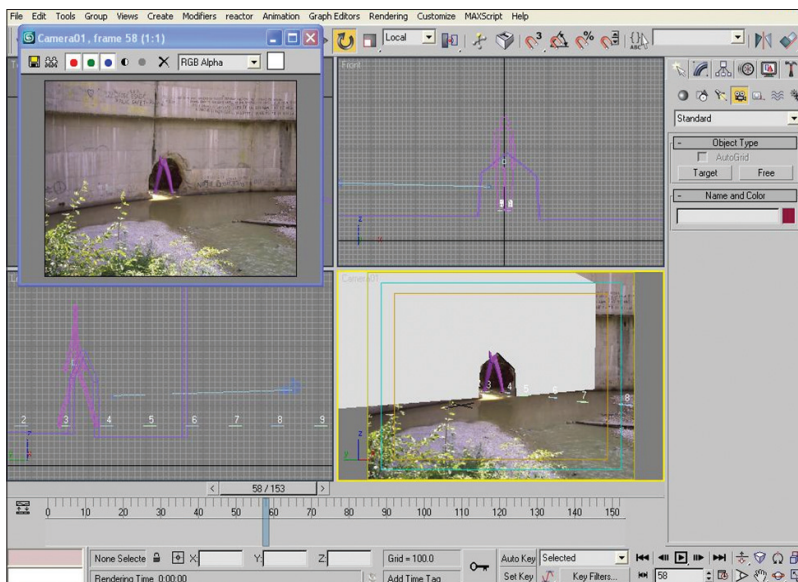


Kreiranje matte objekta

1. Nacrtati outline objekta sa Create Line i dodati modifikator Extrude. Obavezno crtajte u Front prozoru i kreirajte kameru za finalni view.
2. U Material editoru kreirajte novi Matte/Shadow materijal
3. Dodijelite materijal matte objektu.



4. Kada se izrenda, matte objekat se ne prikazuje, nego maskira dio slike.



Rendanje

Biped konstrukcija se može sakriti prije rendanja, ako se selektuje i klikne na Hide Selection. Animaciju rendati u Avi format, Output Size 320x240, Cinepak Codec, Quality Best.

9.2. Facijalna animacija

Facijalna animacija se sastoji od animacije govora i animacije emocija. Ove dvije vrste animacije kreiraju se na isti način. Taj način ćemo objasniti na primjeru animacije govora.

Za animaciju govora animiranog lika potrebni su sljedeći uslovi:

- modeliranje glave lika sa zatvorenim ustima i otvorenim očima u nekoj od tehnika za modeliranje
- pravljenje određenog broja kopija osnovnog modela
- primjena **Morph modifikatora** na osnovni model
- dodjela morph targeta kanalima Morph modifikatora
- animiranje prelazaka iz jednog morph targeta u drugi u skladu sa zvučnim fajlom govora

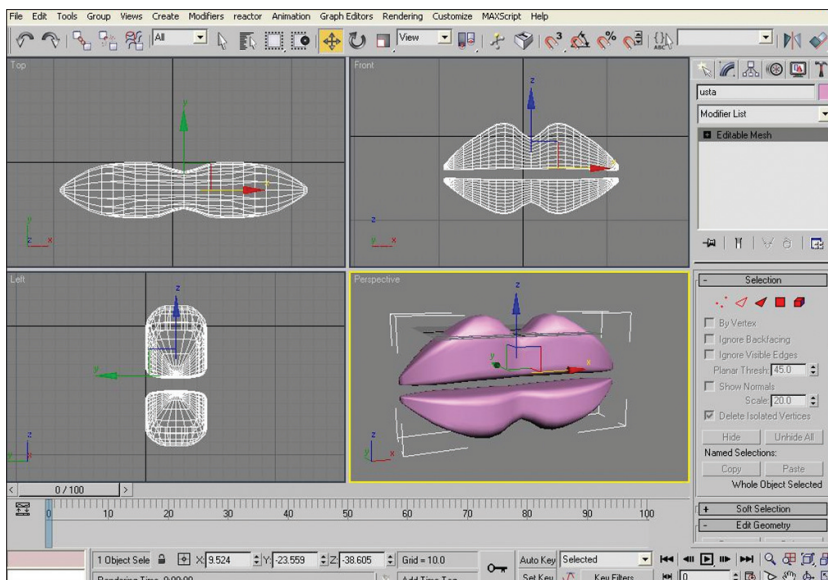
Za svaki lik potrebno je definisati određeni broj visema. **Visemi** su izrazi lica i izgled usta i drugih dijelova lica prilikom izgovora određenih glasova (fonema) ili pojave određenih emocija (bol, osmijeh, iznenađenje).

Istraživanja su pokazala da je za animaciju govora dovoljno raditi sa 4 visema:

- otvorena usta
- zatvorena usta
- raširena usta
- skupljena usta

1. Kreiranje usta

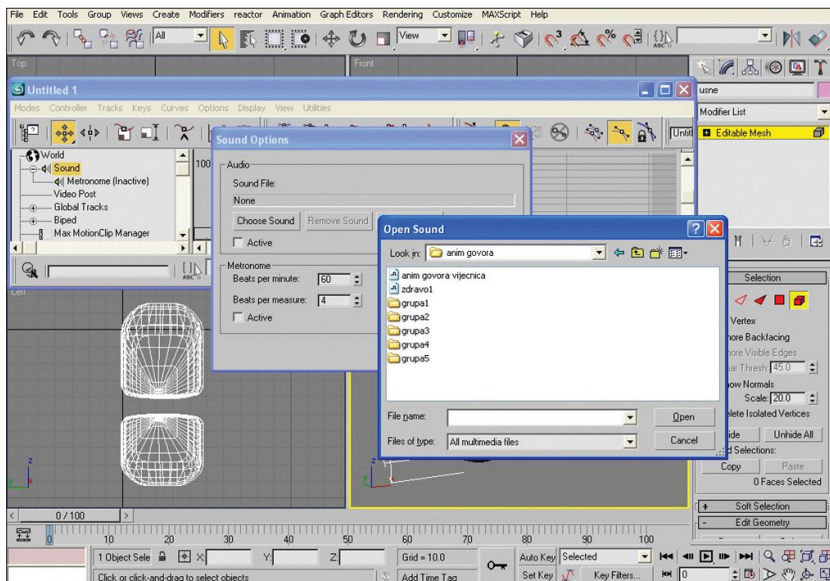
Pomoću poznatih tehnika za modeliranje kreiraj osnovni model usta.



Usta moraju na kraju biti jedan objekat, editable mesh.

2. Učitavanje zvuka

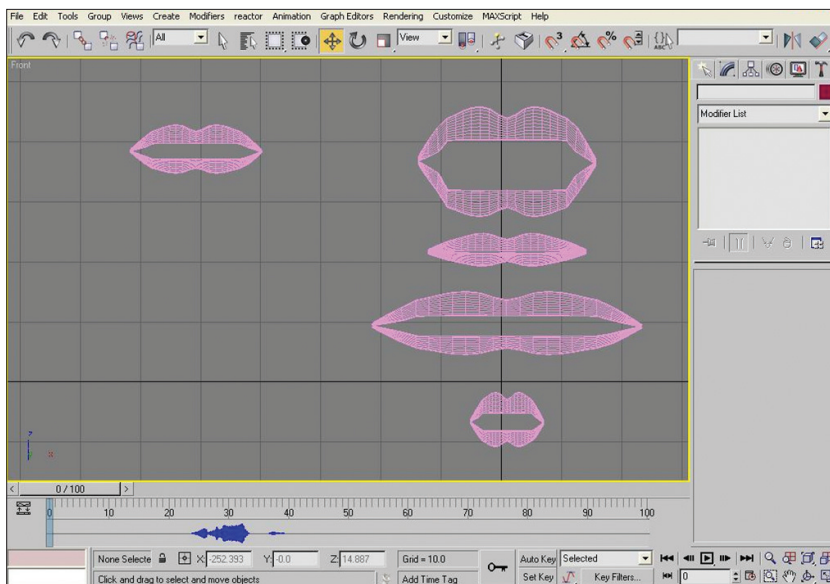
Klikni na Graph Editors-New Track View. Otvara se Track View Editor. Klikni desnim na Sound, izaberi Properties i iz Choose Sound izaberi zvučni fajl.



Waveform zvuka se sada nalazi ispod timeline-a. Ako nije prikazan, klikni desnim na timeline, iz Configure menija izaberi Show Soundtrack.

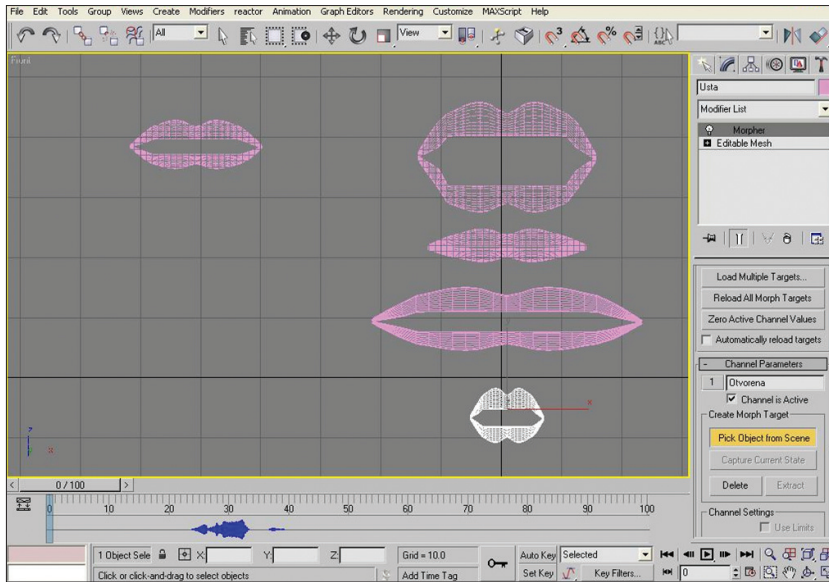
3. Kreiranje visema

Sa shift+move napravi 4 kopije osnovnog objekta usta i daj im imena Otvorena, Zatvorena, Rasirena, Skupljena. Sa Modify-Vertex pomjeri vrhove kopija u skladu sa njihovim imenima.



4. Morpher modifikator

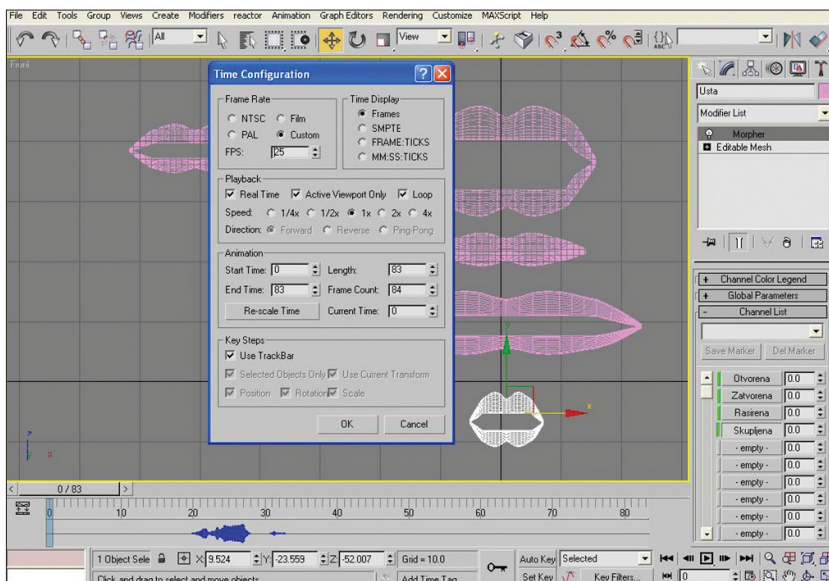
Klikni na osnovni objekat usta i u listi modifikatora izaberi Morpher modifikator. U Channel parametrima Morpher modifikatora izaberi Pick object from scene i klikni na kopiju Otvorena.



Sada je objekat Otvorena postao jedan od kanala Morpher modifikatora. Klikni na sljedeće kanale i izaberi ostale kopije osnovnog objekta.

5. Animacija

U Time Configuration (mali sat do prikaza tekućeg frejma) izaberi Frame rate Custom 25 FPS.



Uključi Auto Key. Postavi se na početni frejm zvuka i u Morpher modifikatoru klikni na Zero Active Channel Values. Slušaj zvuk i postavljaljaj procenite uticaja pojedinih visema prema obliku usta koji odgovara zadatom zvuku.

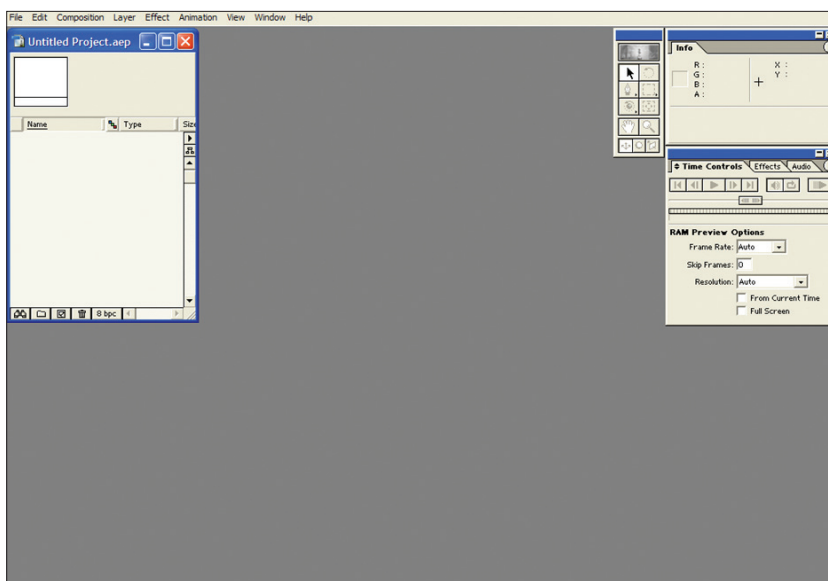
6. Rendering

Sa Hide by name (na komandnom meniju desno, Display-Hide-Hide by Name...) sakrij sve objekte osim osnovnog. Izaberi Rendering-Render i postavi Range na onaj opseg frejmova gdje se nalazi zvuk. Postavi Output Size na PAL D1 video i izaberi avi format fajla sa Cinepak kodekom i Quality 100. Klikni na render.

9.3. Compositing u Adobe After Effects-u

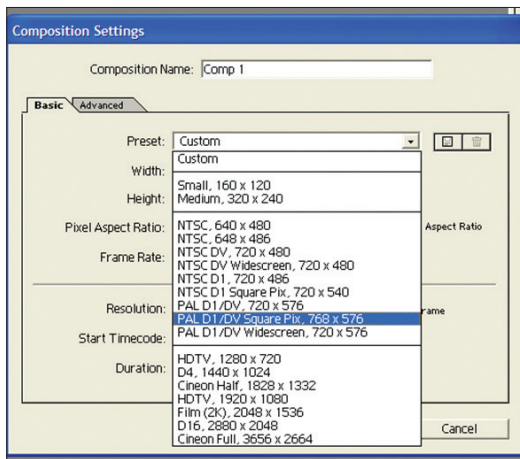
Adobe After Effects je program za compositing. Osnovna razlika izmedju ovog programa i Adobe Premiere je u tome što After Effects podržava mnogo bolji i lakši rad sa efektima. Parametri efekata mogu se animirati u vremenu. Takodjer, omogućen je rad sa nivoima slike (layerima), tako da se može kombinirati više layera slike u finalni composite i svaki od tih layera može imati animirane geometrijske transformacije i efekte.

Kada se pokrene ovaj program na ekranu se pojavljuje osnovni desktop

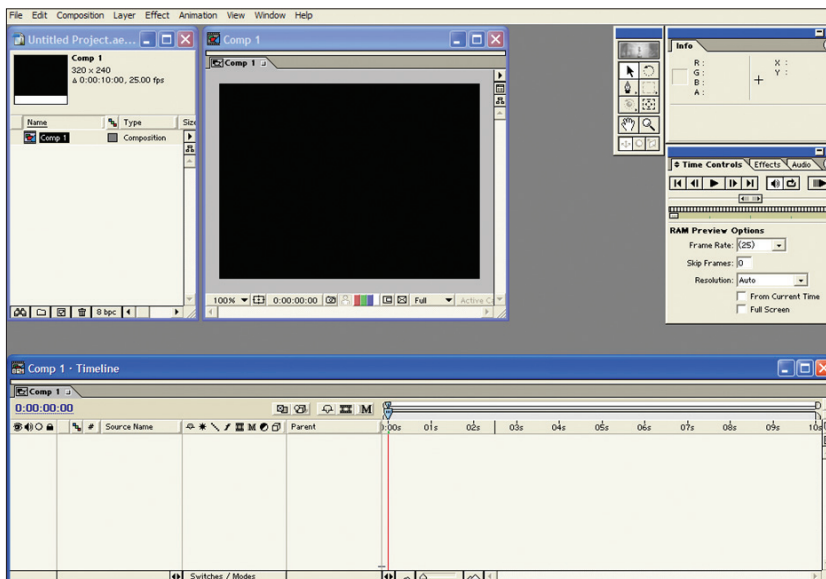


Rad u ovom programu odvija se u okviru Composition okruženja.

1. Izaberi Composition-New Composition. Otvara se Composition settings prozor



2. Izaberi PAL D1/DV Square Pixels 768x576 seting i smanji veličinu slike na 320x240 pixela. Pojavljuje se timeline i monitor prozor.



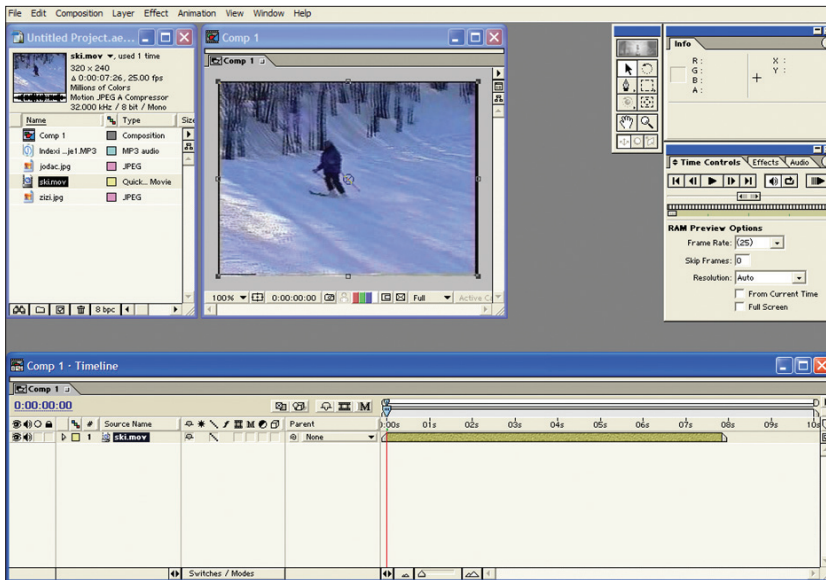
Import materijala


3. Importiraj materijal sa File-Import-Multiple Files. Selektuj sve fajlove iz foldera Materijal i klikni na Done.

Sada se materijal nalazi u Project prozoru.

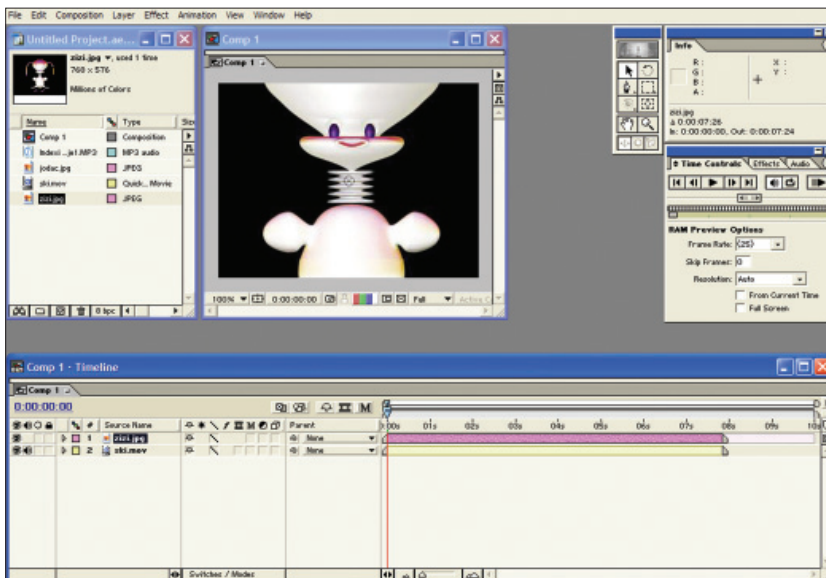
Compositing

4. Povuci klip ski.mov na timeline



Klip se može plejati pomoću kontrola u Time Controls prozoru. Ovo plejanje nije u realnom vremenu i ne čuje se zvuk. Ako želimo plejati u realnom vremenu i čuti zvuk, treba kliknuti na RAM Preview ikonu u Time Controls prozoru  Nakon ovoga program renderuje preview u realnom vremenu.

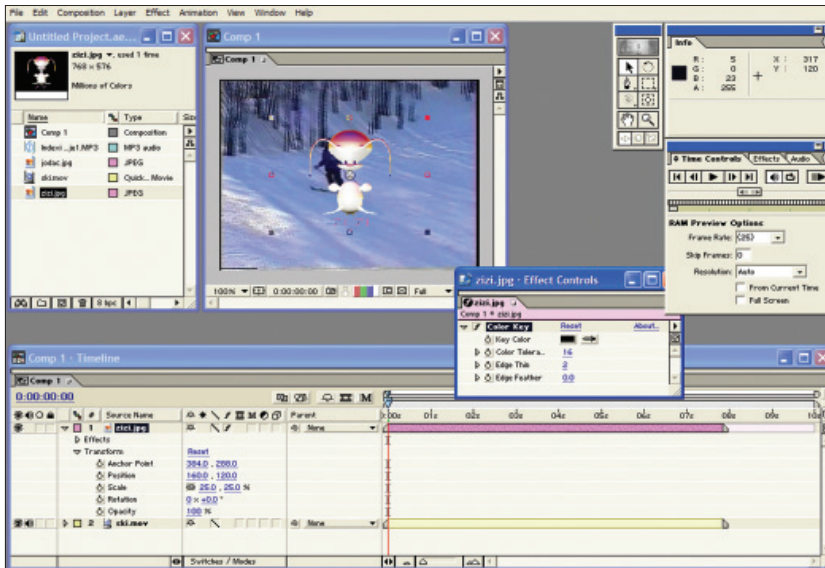
5. Povuci klip zizi.jpg na timeline iznad prvog layera.




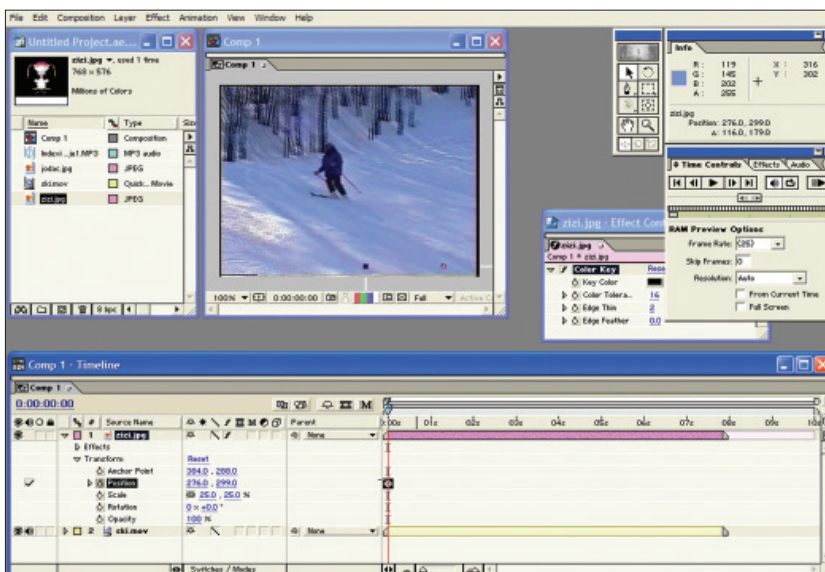
6. Otvori strelicu pored zizi.jpg layera i postavi scale na 25% (aspekt treba biti zaključan)



7. Sa selektovanim zizi.jpg layerom izaberi Effect-Keying-Color Key. Pomoću pipete u Effects Control prozoru odaberi crnu boju oko lika i podesi Color Tolerance na 16 i Edge Thin na 2.

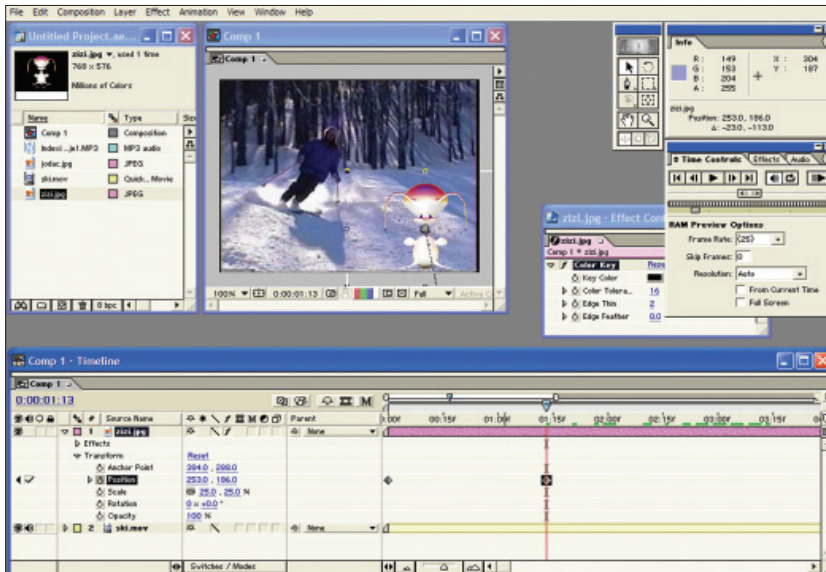


8. Postavi se u nulti frejm animacije i pomjeri layer zizi.jpg desno dolje tako da se lik ne vidi. Klikni na ikonu  pokraj Position opcija.

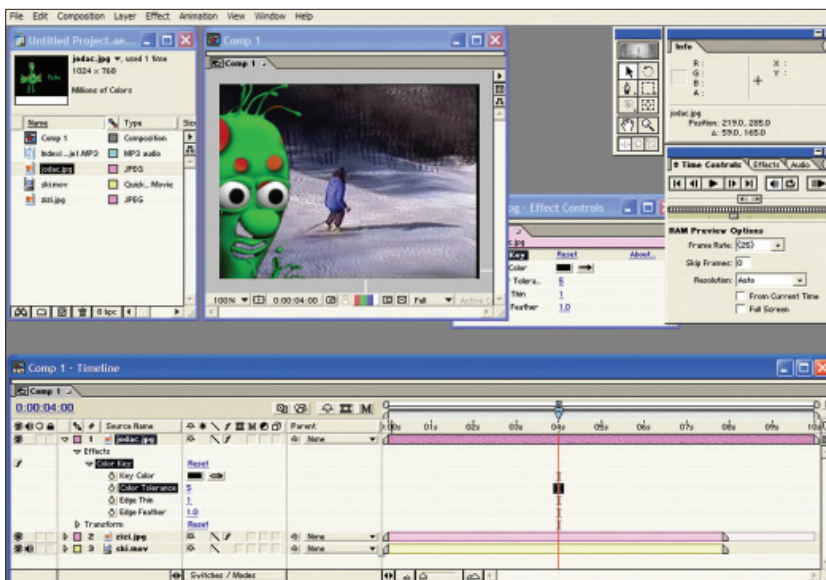


Na ovaj način smo kreirali key frame u nultom frejmu animacije. Svaka naredna promjena položaja ovog layera pamti se u vremenu i tako kreira animacija.

9. Postavi se u 1sec 15 frejmova i podigni layer zizi.jpg tako da se lik vidi.



10. Postavi se u 3 sec i pomjeri lik prema dolje da se ne vidi.
11. Kreiraj RAM preview i pogledaj animaciju.
12. Na isti način kreiraj key frame-ove za rotaciju layer-a zizi.jpg.
13. Sklopi layer zizi.jpg i dodaj iznad njega layer jodac.jpg.
14. Napravi Color Key na crnu boju kao i ranije, sa Color Tolerance 5, Edge Thin 1 i Edge Feather 1
15. Podesi lik u položaj kao na slici



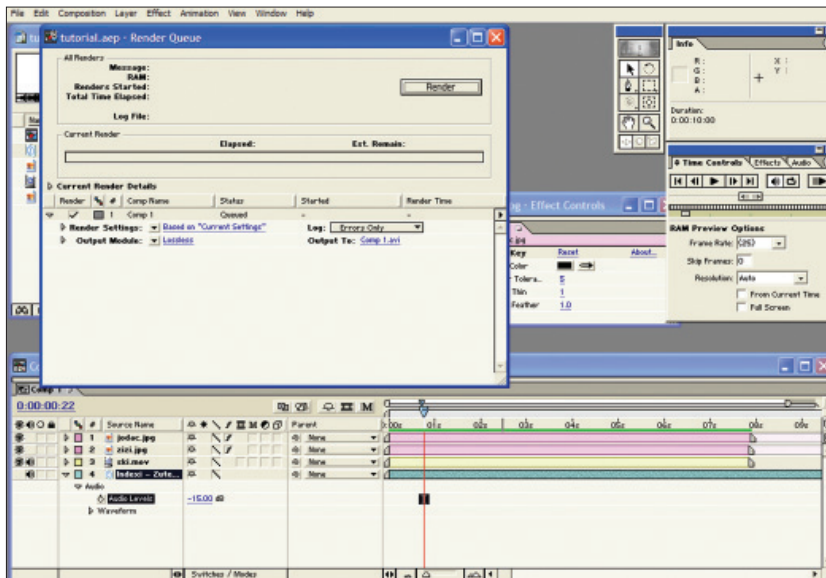
16. Otvori Transform opcije layera jodac.jpg i u 4 sec postavi Opacity na 0. Zadaaj key frame. Layer je postao potpuno transparentan.
17. U 5 sec postavi Opacity na 100 i u 6 sec ponovo na 0.
18. Napravi RAM Preview animacije.

Rad sa zvukom

19. Otvori Audio opcije layera ski.mov.
20. U 1 sec 15 fr postavi Audio Levels na 0 dB i zadaaj key frame. U 1 sec 14 fr postavi Audio Levels na -48 dB
21. Postavi fajl Indexi na timeline ispod layera ski.mov
22. Napravi RAM preview animacije
23. Spusti Audio levels layera Indexi na -15 dB

Rendering

Kada je composite završen, treba ga izrendati u finalni fajl. Rendanje se vrši izborom Composition-Make Movie. Zatim se bira format i ime fajla. Opcije se mogu podesiti u Render Queue prozoru. Kliknuti na Render.



9.4. Kreiranje objekta na bazi fotografija

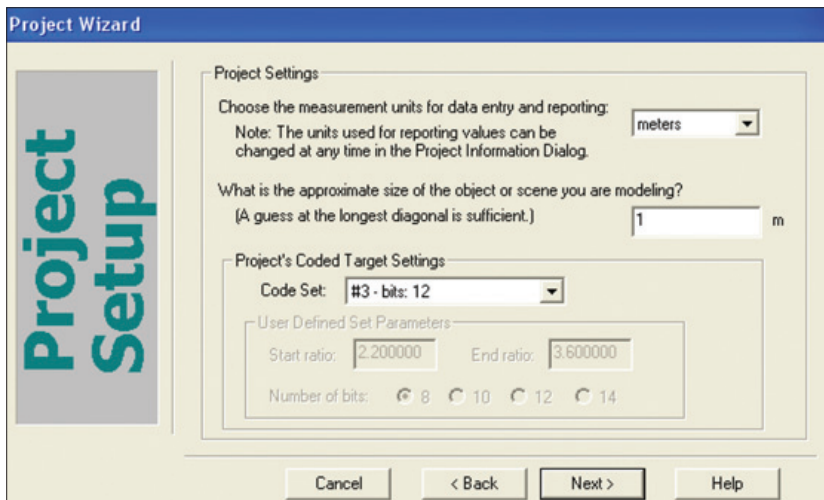
9.4.1. Photo Modeler - Points-based project

Napraviti novi projekat:

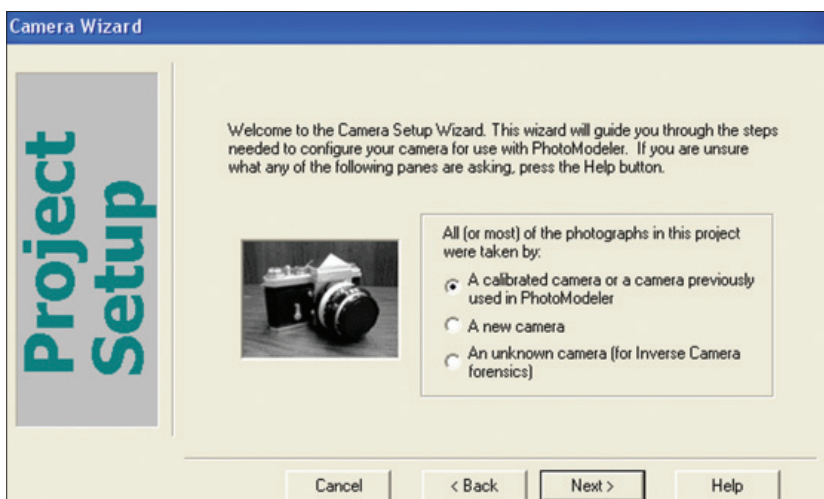
File > New Project

Izabrati "A Standard Photomodeler Project"

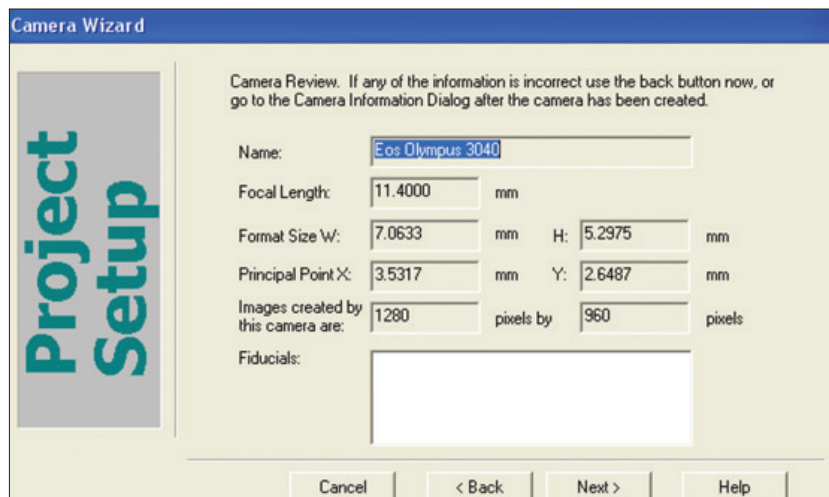
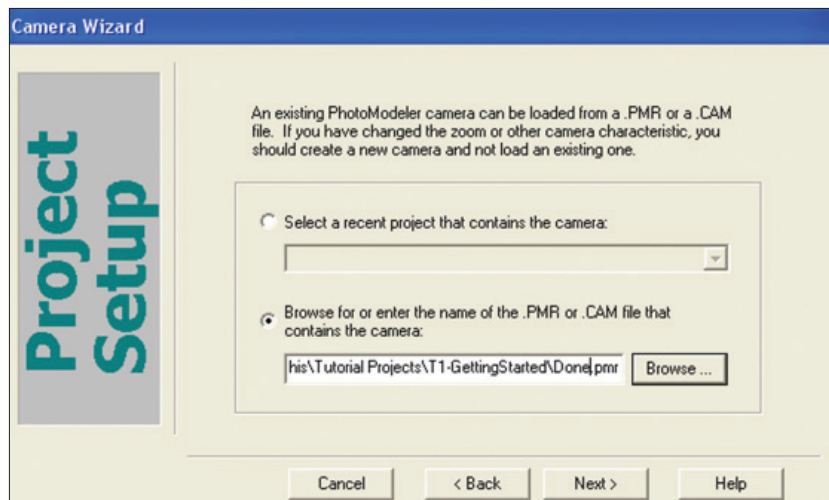
Na Projects settings ostaviti vrijednosti kakve jesu



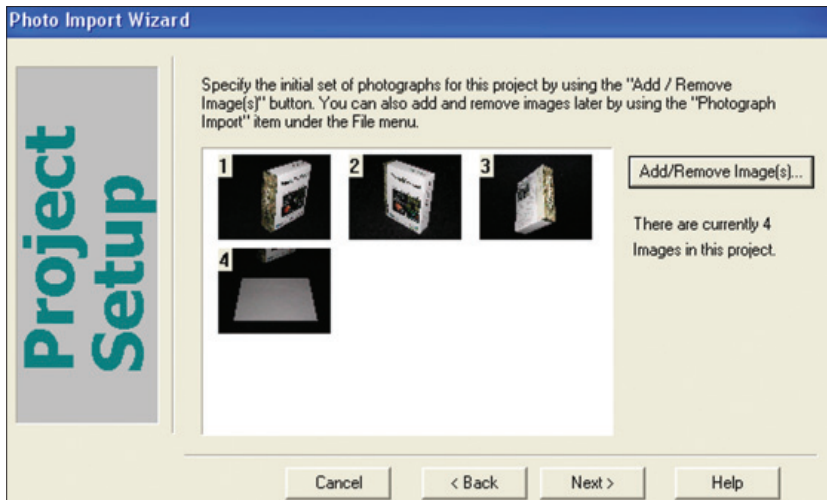
U Camera Setup Wizardu izabrati "A calibrated camera or a camera previously used in Photomodeler"



Locirajmo prethodno napravljene file koji sadrži podatke o kalibraciji kamere.

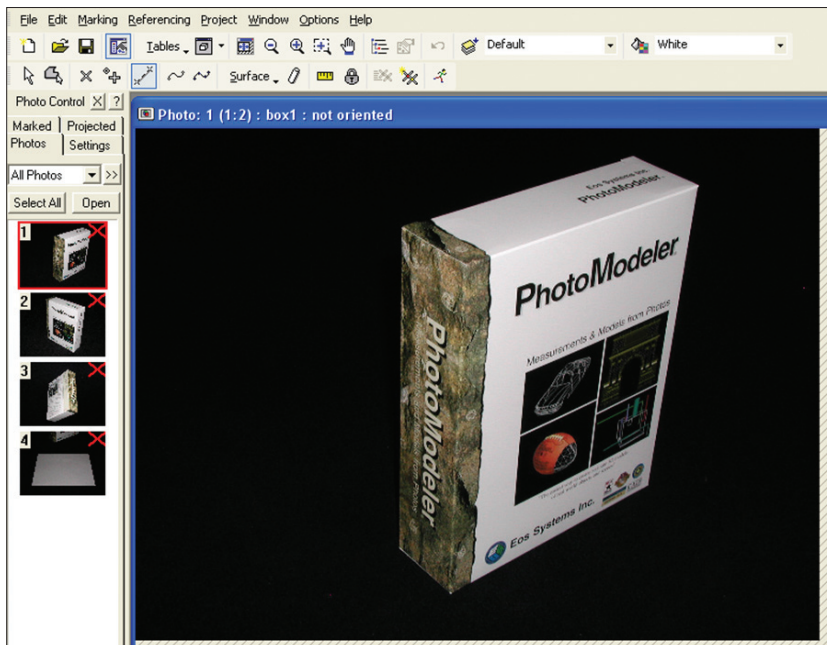


U Photo Import Wizardu unijeti fotografije objekta.



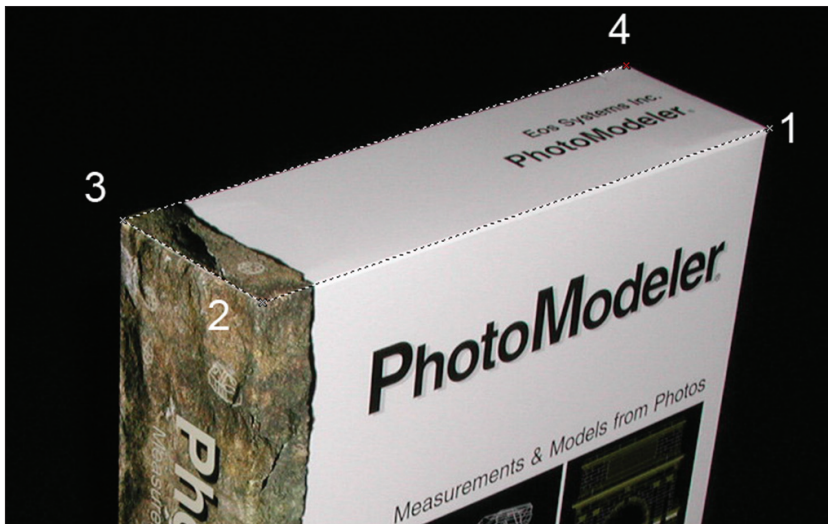
Kliknuti na *next* pa na *finished* kako bismo završili sa postavljanjem projekta.

Dvostrukim klikom na sliku otvoriti je i izabrati 'mark lines' mode: 



Ovaj mode se može koristiti za iscrtavanje linija između postojećih tačaka. U ovom slučaju kreiramo linije i tačke istovremeno.

Vrhom kursora postavljati tačke kao na slici



Nakon što postavimo tačku broj 4 vraćamo se na početnu tačku, tačku br. 1, ali ovdje ne trebamo napraviti novu tačku nego je 'snapovati' (preklopiti) sa tačkom broj 1.

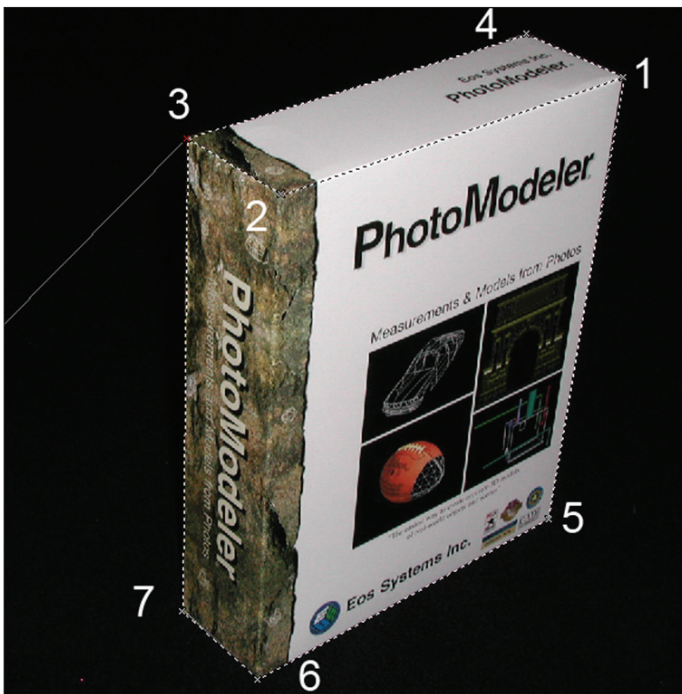
“+” key-a na tastaturi je shortcut za zoom-in

“.” key-a na tastaturi je shortcut za zoom-out

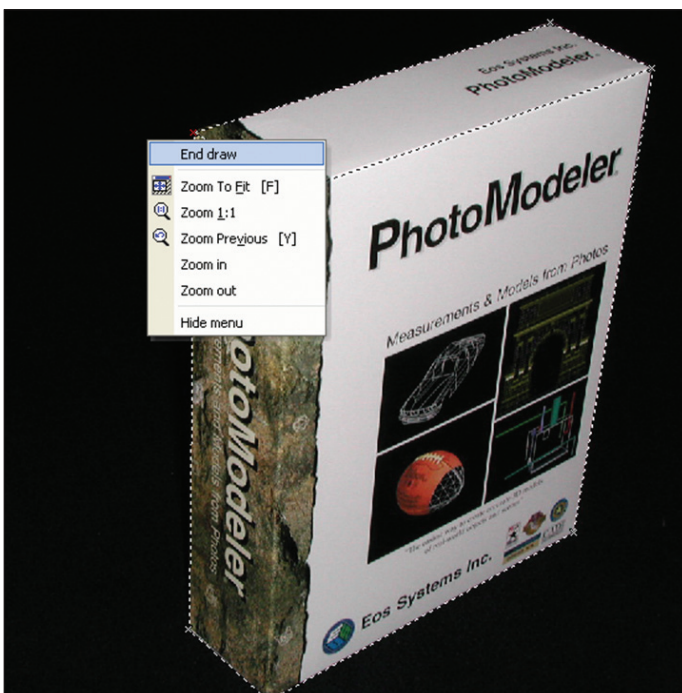
Uraditi zoom-in na tačku br.1 i tačkom koja predstavlja vrh kursora kliknuti u sami centar tačke br. 1.

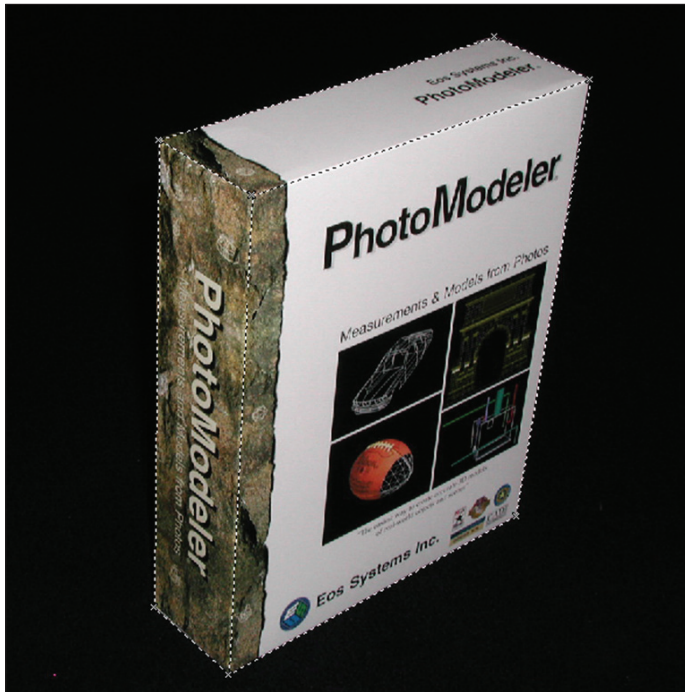


Nastaviti sa iscrtavanjem tačka 5, 6 i 7. Tačku br. 8 preklopiti sa tačkom br. 3.

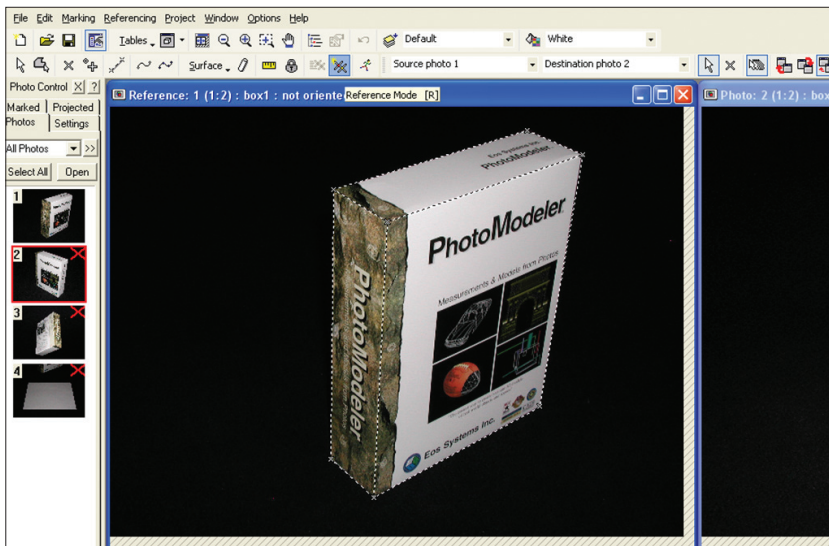


Nakon preklapanja sa tačkom br. 3 kliknuti desnim klikom miša i izabrati “End draw”.

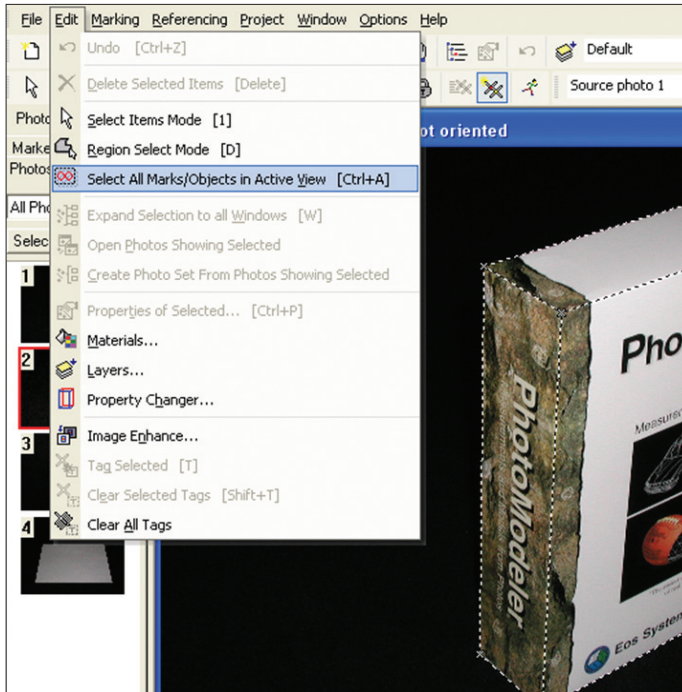




Is crtati preostalu liniju preklapanjem sa tačkama br. 6 i 2. Ponovo uraditi “End draw”.
 Dvostrukim klikom otvoriti drugu fotografiju.
 Iz menija sa toolbara izabrati reference mod:

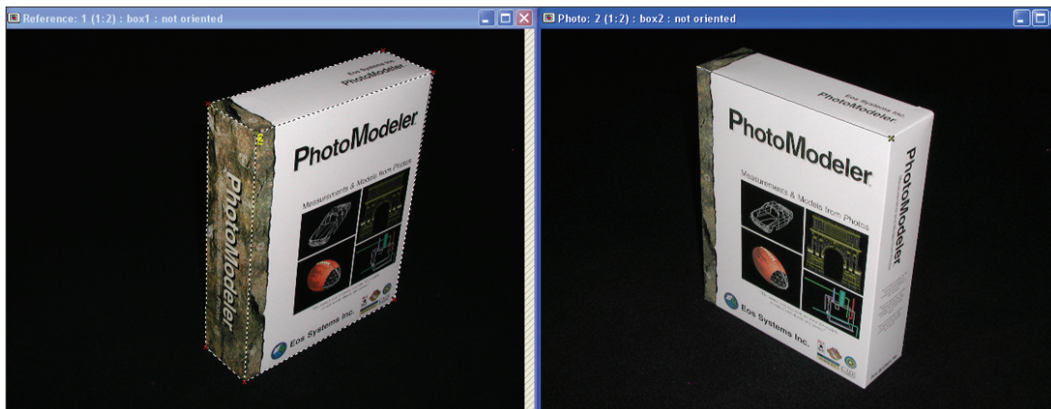


Aktivirajmo prvu fotografiju i selektujmo sve tačke na njoj:

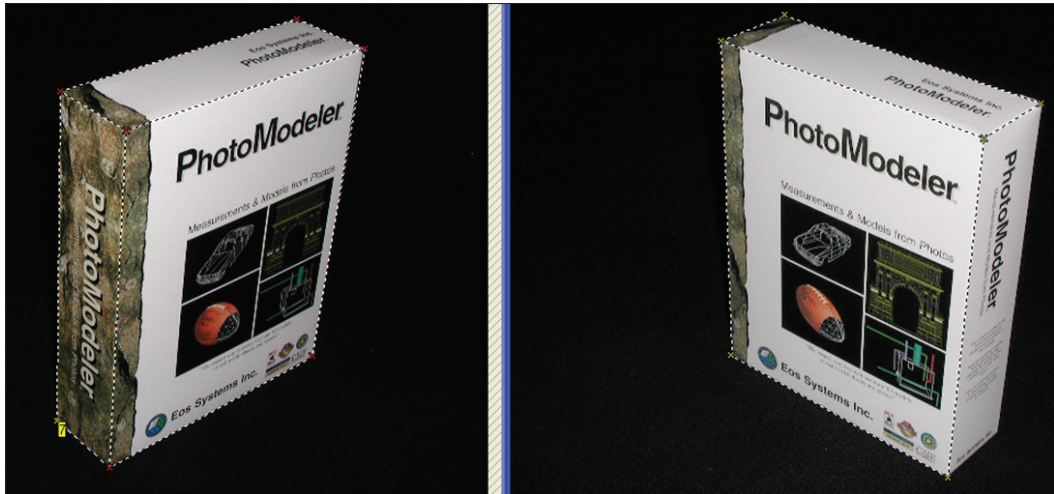


Na ovaj način smo postavili prvu fotografiju za “referencing source”. Selektujmo sada drugu fotografiju. Primijetit ćemo tzv. “indicating” tačke na referencing source fotografiji (brojevi na žutoj podlozi) prema kojima moramo postaviti korespondentne tačke na drugoj fotografiji.

Postaviti vidljive korespondentne tačke na drugoj fotografiji.



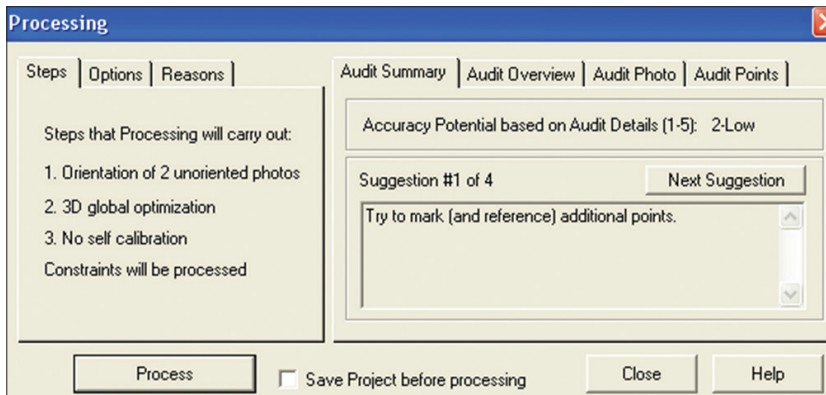
Primijetit ćete da se poslije svakog klika indicating point na referencing source fotografiji premješta na novu tačku pokazujući vam, na taj način, sljedeću tačku koju morate označiti na drugoj fotografiji.




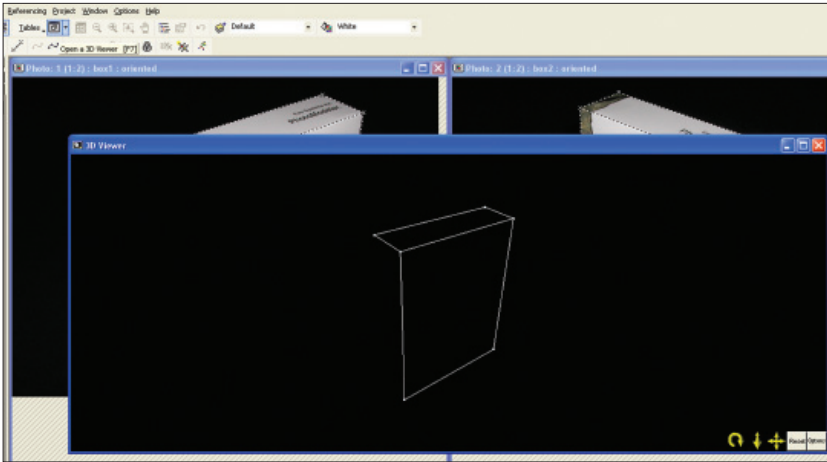
Tačka broj 7 nije vidljiva pa kliknuti na “Esc” taster kada dođe na red.

Sada smo postavili dovoljan broj tačaka za računanje pozicije kamere za fotografije 1 i 2.

Iz menija izabrati Project > Process. U processing dialog boxu kliknuti na “Process”

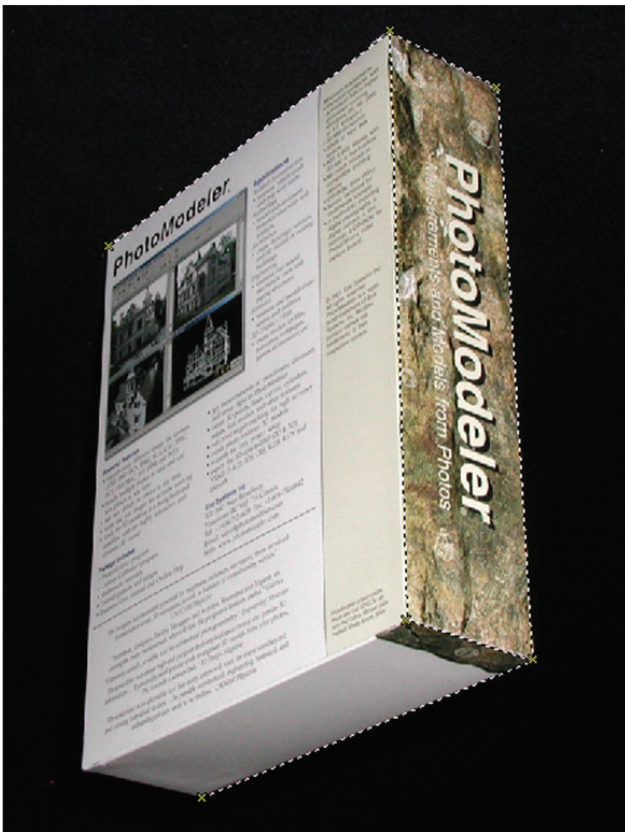


Kada je procesiranje završeno otvoriti 3D viewer  kako bismo vidjeli 3D model isprocesiranog objekta.

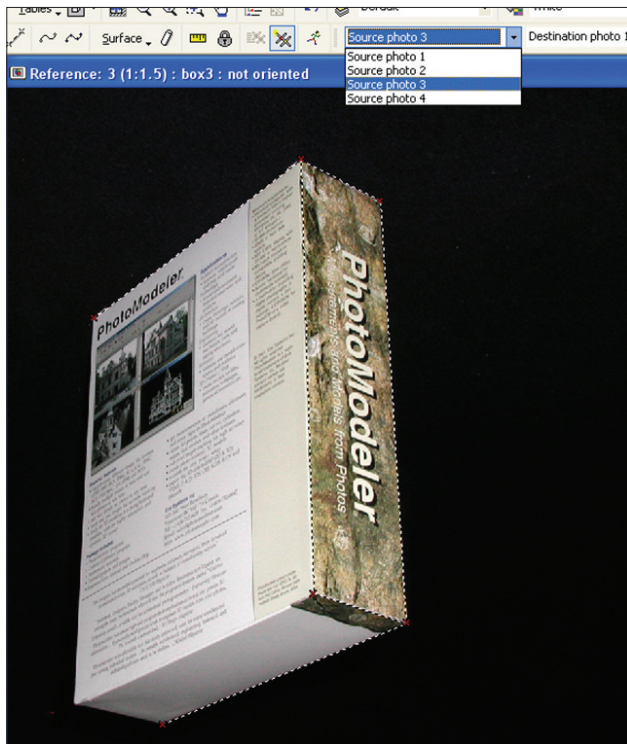


Nastavljamo dodavanjem tačaka, referenci i fotografija. Otvorimo treću fotografiju i na isti način kao što je to bio slučaj sa fotografijom br.2 referencirajmo tačke sa fotografije br. 1.

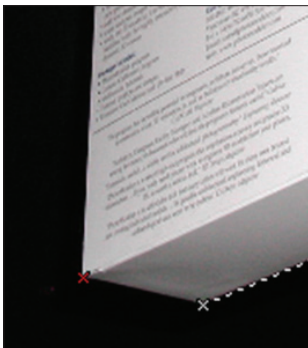
Tačka br 1 nije vidljiva pa je preskočiti.



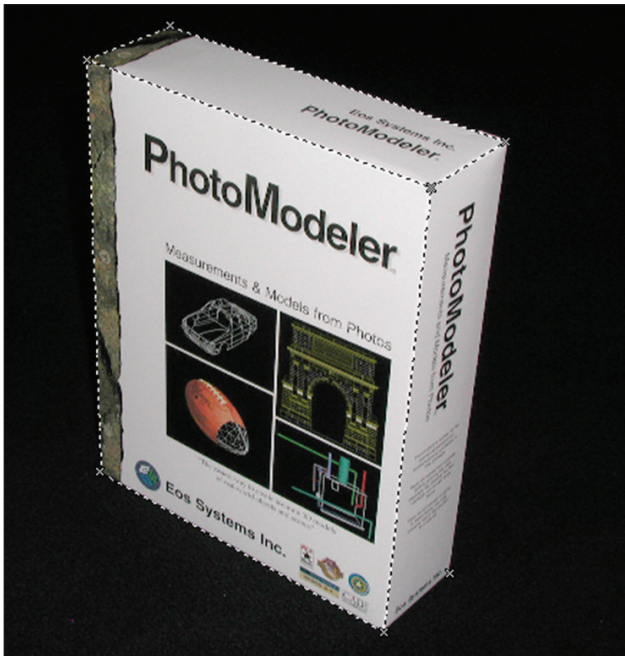
Preostali ugao nije vidljiv na referencing source fotografiji. Zbog toga ćemo promijeniti source fotografiju, tj, postaviti ćemo fotografiju br.3 kao source:



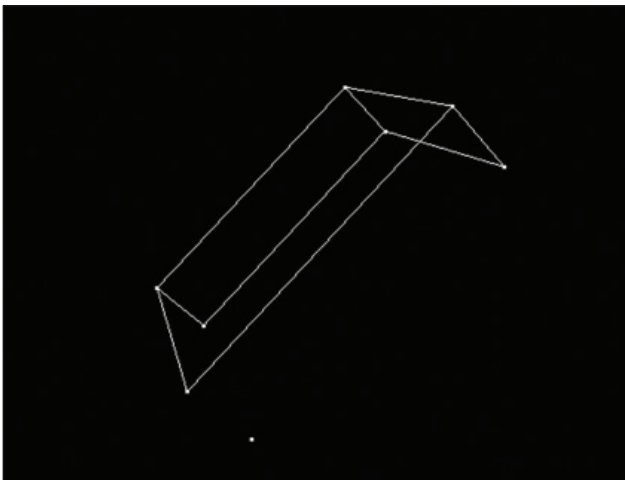
Izaberimo mark on source photo  i postavimo preostalu tačku na fotografiji br. 3



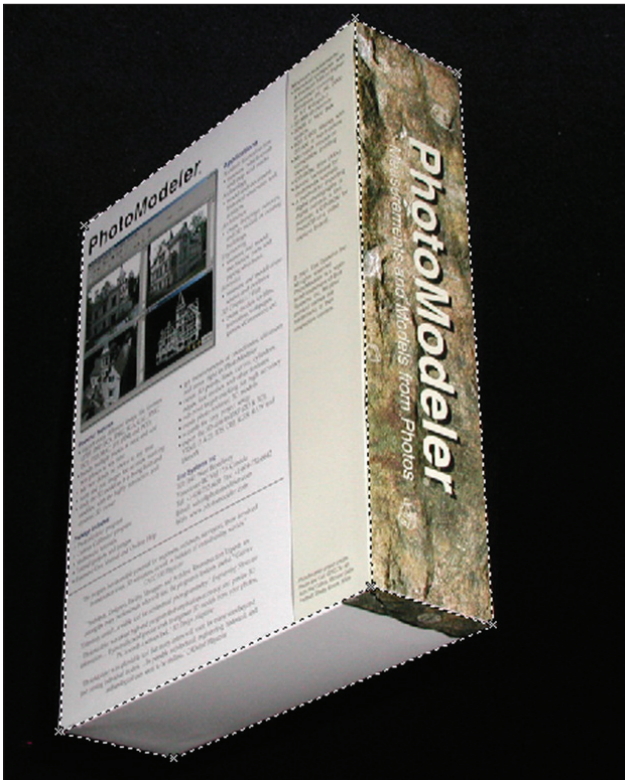
Nova tačka postaje tačka br. 8 i sada ćemo na fotografiji br. 2 kliknuti na korespondentnu tačku:



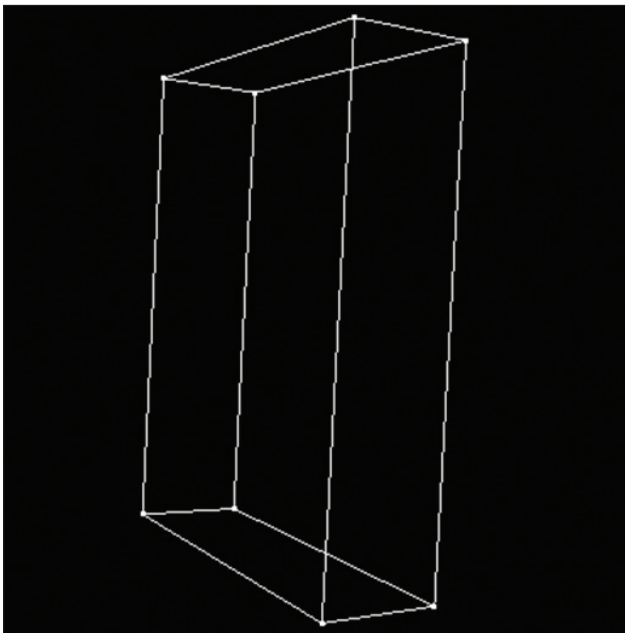
Ponovo isprocesirati kameru i otvoriti 3D view. Rezultat je kao na slici:



Nedostaju linije između tačke koju smo upravo napravili i ostatka. Izabrat ćemo Mark Lines nod i nacrtati preostale linije (ili na fotografijama ili u 3D vieweru).

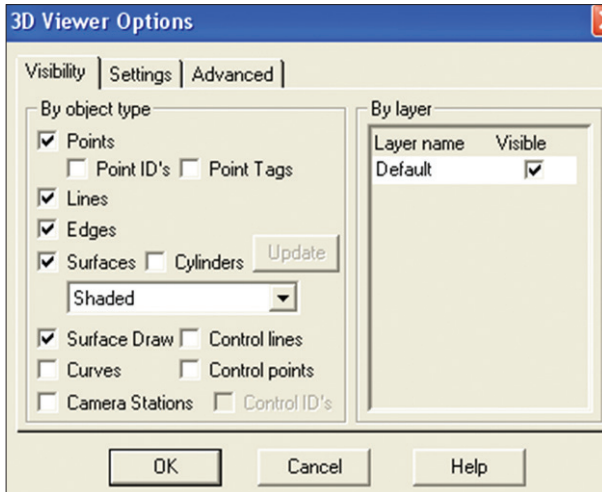


Isprocesirajmo kameru, rezultat je kao na slici:

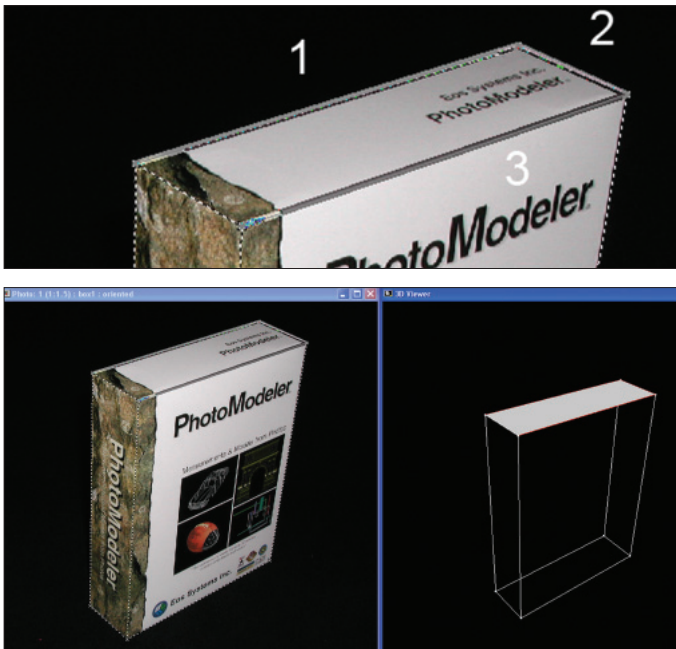


Spasimo projekat kao wireframe.pmr

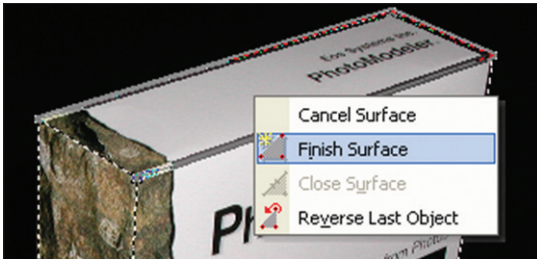
Sada kada imamo oblik napraviti ćemo površine. Iz Surface menija izaberimo Path Mode. U 3D viewer opcijama označiti Surfaces i Surface Draw boksove.



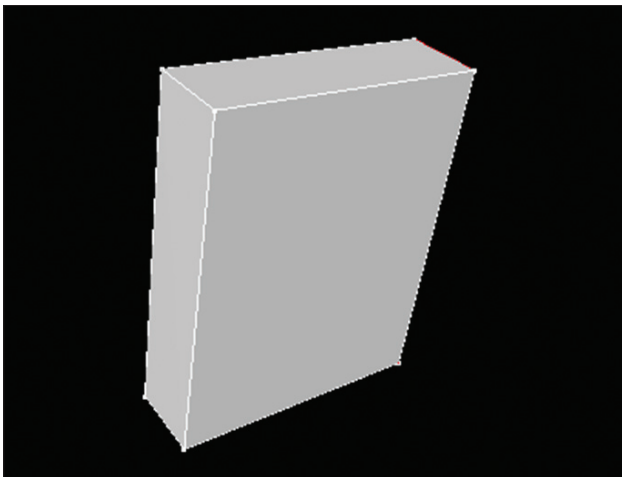
Isctrajmo najprije gornju površinu boksa klikajući na linije u smjeru kazaljke na satu:



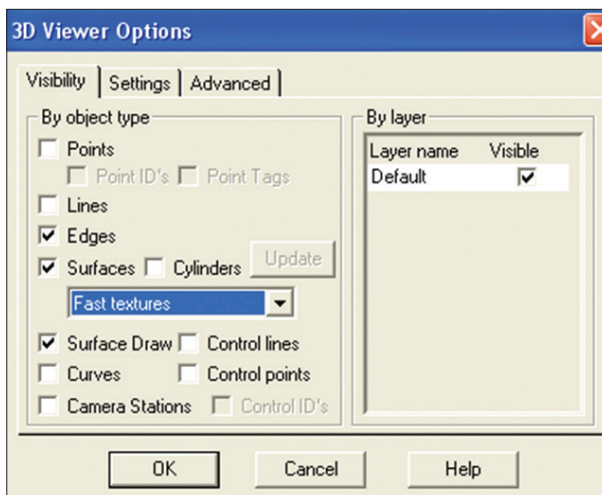
Nakon 3 izabrane linije PhotoModeler će sam napraviti površinu za 4 tačke. Preostaje da završimo sa iscrtavanjem date površine tako što kliknemo desnim dugmetom miša i izaberemo Finish surface



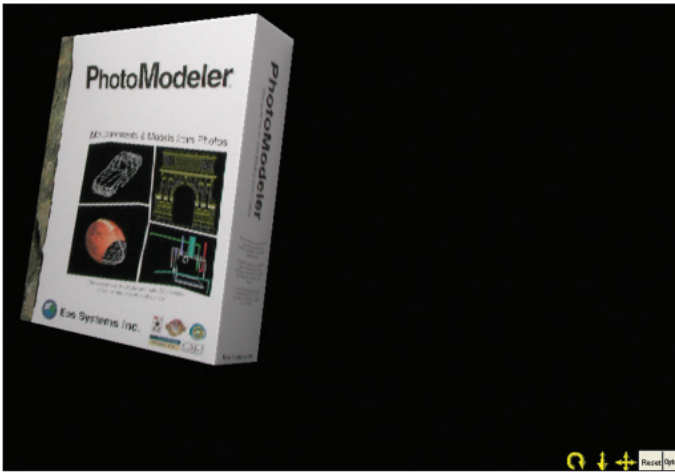
Nastavljamo sa iscrtavanjem preostalih površina (uvijek u smjeru kazaljke na satu)



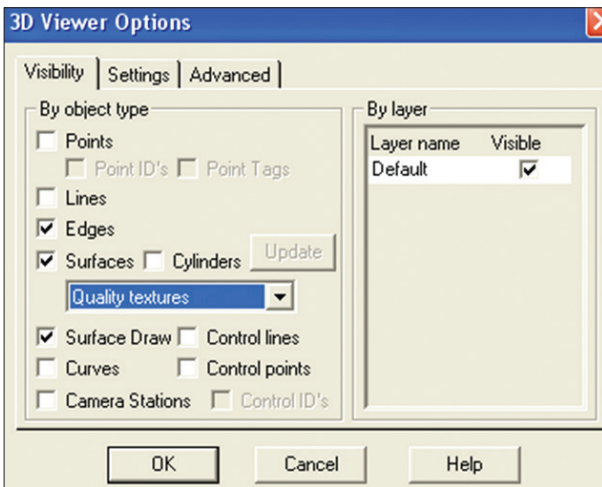
U 3D viewer opcijama isključimo lines i points i za Surfaces postavimo Fast Textures:



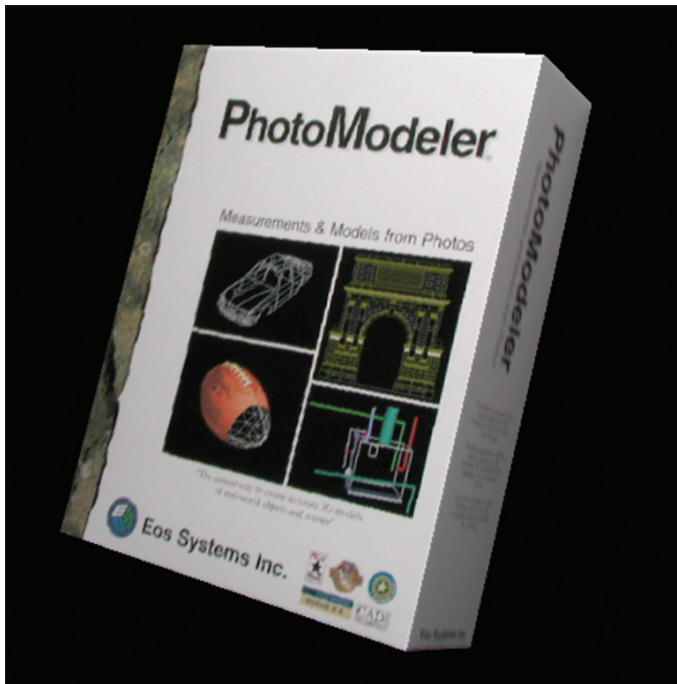
Ova će operacija iskoristiti postojeće fotografije kako bi ih mapirala na model.



Fast textures operacija koristi se za preview i uzrokuje distorziju na teksturama. Izabrati Quality Textures:



Sada će PhotoModeler remapirati svaki pixel tekstura pokušavajući napraviti najbolji mogući 3D prikaz objekta.



Ovakav quality textured model može biti eksportovan u bilo koji program za 3D modeliranje i animaciju.

Uraditi: File > Export Model, i izabrati željeni format.

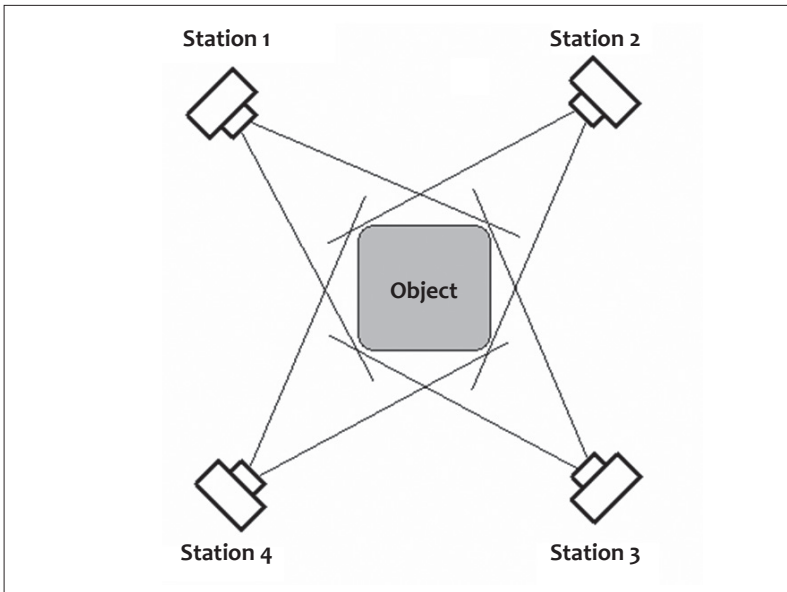
Spasiti projekat kao surface.pmr

9.4.2. Pravila za fotografisanje objekta

Postoje odgovarajuća pravila kojih se treba držati kod fotografisanja objekta koji se želi izmodelirati.

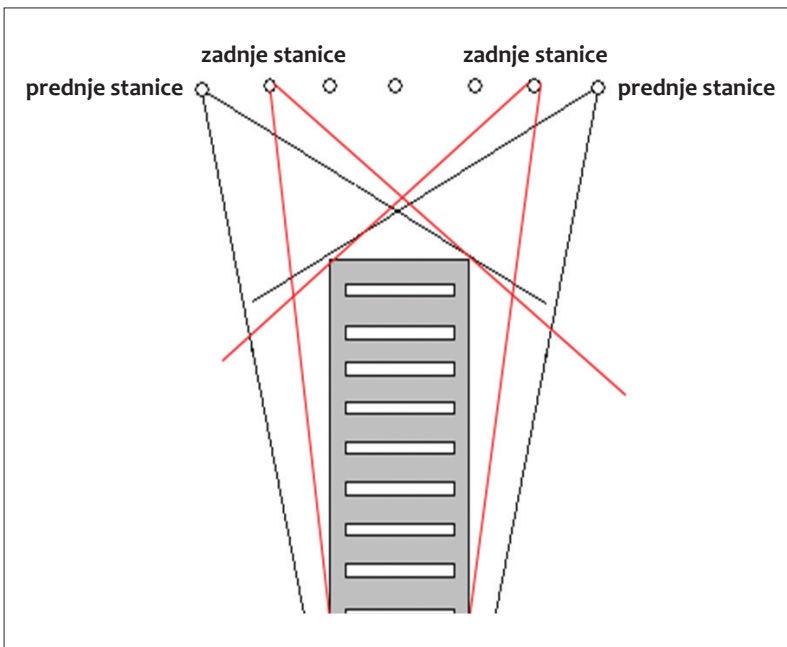
1. pokušajte napraviti fotografije tako da uglovi između susjednih fotografija budu što je više moguće nalik pravim uglovima.
2. napravite najmanje tri fotografije objekta
3. pokušajte obuhvatiti sve važne vrhove objekta na bar tri fotografije
4. pokušajte uzeti fotografije donje i gornje strane objekta ako je to moguće
5. napravite što više fotografija objekta ali koristite najviše četiri u početku rada
6. ne mijenjati fokalnu dužinu niti ostale parametre kamere tokom procesa fotografisanja!

Kada radite na objektu koji ima pravougaoni ili kvadratni oblik, kakvi su naši stećci, napravite fotografije sa četiri čoška objekta.



Top prikaz

Dalje, kamere je potrebno podesiti ne samo horizontalno na način kako je prikazano na gornjoj slici, nego i vertikalno tako da obuhvataju i gornju stranu objekta kako je prikazano na sljedećoj slici:

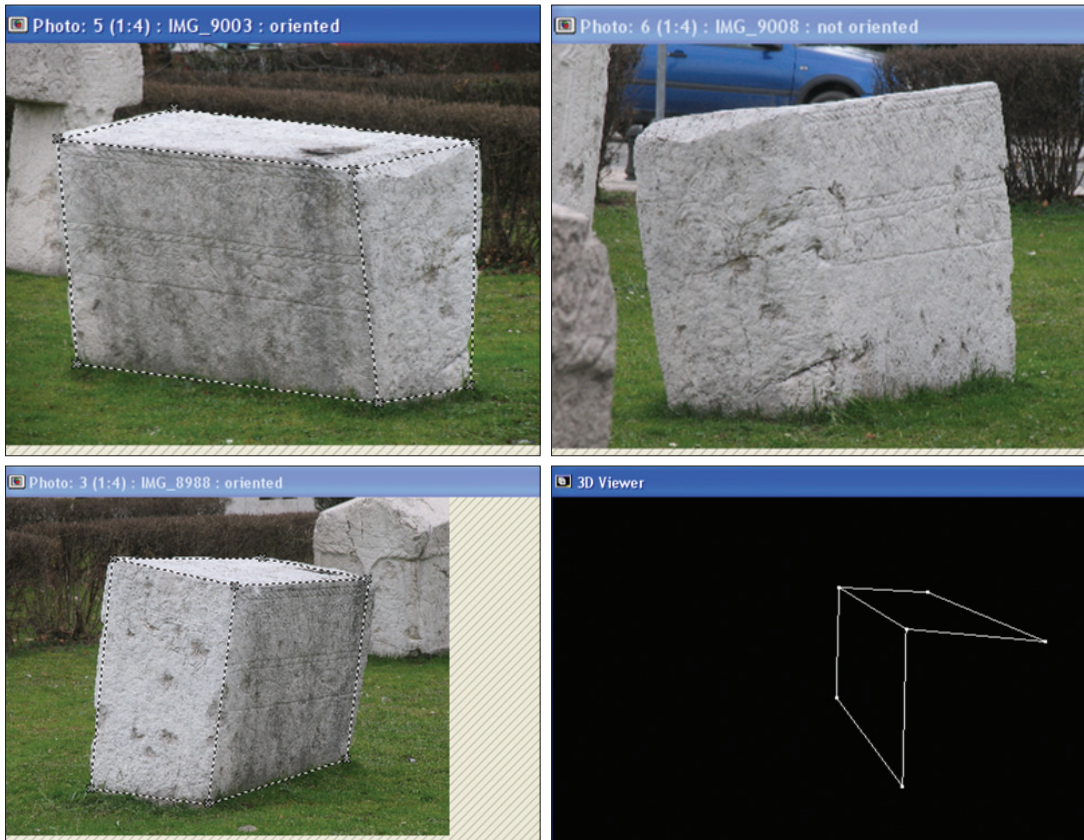


Prikaz sa strane

Ukoliko podesite kamere na način opisan gore, svaka od fotografija će obuhvatiti jednu gornju i dvije susjedne strane objekta. Potrudite se da svaka od fotografija ima 6 zajedničkih tačaka sa preostalim fotografijama, i 3 zajedničke strane sa nekom od ostalih.

Primjer pogrešno uslikanog objekta:

2 uslikane fotografije (u nastavku) sadrže po 6 zajedničkih tačaka, međutim, treća fotografija (Photo 6) je neupotrebljiva zbog toga što nema uslikanu gornju stranu objekta tj. ima samo 5 zajedničkih tačaka sa preostalim fotografijama



9.4.3. Kalibracija kamere

Kalibracija kamere je veoma važna za postizanje dobrih rezultata sa PhotoModelerom. Svrha kalibracije kamere je određivanje parametara kamere kao što su npr. fokalna dužina i distorzija sočiva. Uključuje nekoliko jednostavnih koraka:

1. Pravljenje fotografija PhotoModeler-ove mreže kalibracije

Ovu mrežu možete naći u instaliranom direktoriju PhotoModelera –PhotoModelerCalibrationGrid.pdf

Potrebno je odštampati mrežu. Po defaultu postavljena je letter veličina papira. Po potrebi se može mijenjati. Letter veličina je dobra za početak, ali za veću preciznost potrebno je odštampati mrežu u veličini što približnijoj veličini objekta koji se modelira.

Ovo je primjer fotografisanja veće mreže za kalibraciju. Uzima se od 6 do 12 fotografija mreže (više fotografija znači bolju preciznost kalibracije), najprije landscape fotografije mreže sa svih strana:



Zatim 4 portrait fotografije (rotirana kamera za 90 stepeni udesno):

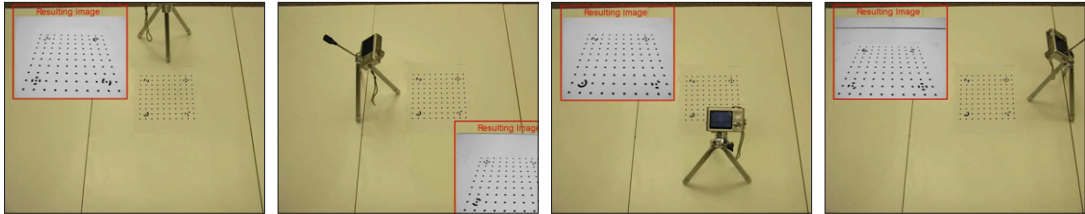


i, na kraju, 4 portrait fotografije rotiranjem kamere za 90 stepeni ulijevo:

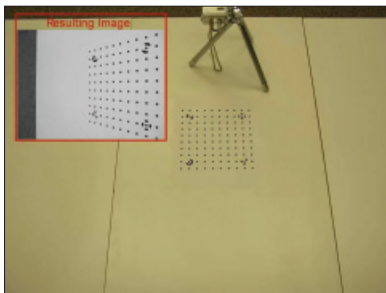


Svi parametri fotografije, kao što su zoom, rezolucija i kvalitet fotografije moraju ostati nepromijenjeni za sve fotografije u procesu kalibracije. Također, preporučuje se da se isključi ‘sharpening’.

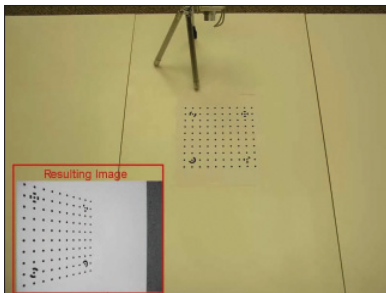
U sljedećem primjeru se radi kalibracija kamere sa mrežom u letter veličini. Postupak je isti, najprije 4 landscape fotografije:



Zatim 4 portrait, kamera rotirana udesno:

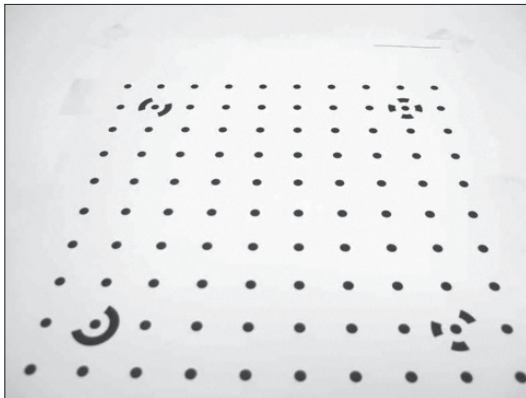


I na kraju 4 portrait – kamera rotirana ulijevo:

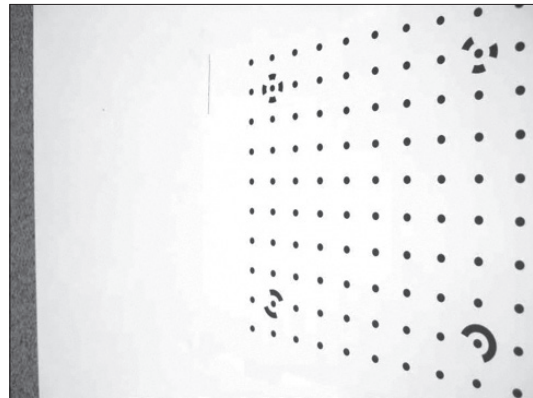


Mreža se može postaviti na bilo koju ravnu površinu, kao pod npr. Kako prilikom kalibracije program detektuje tačke mreže poželjno je da je podloga jednobojna i bez dodatnih neravnina i objekata koje bi program mogao greškom prepoznati kao tačke. Poželjno je, također, koristiti stativ prilikom fotografisanja – za umanjenje efekata prouzrokovanih drhtanjem rukom prilikom fotografisanja. Ukoliko nemate pristup stativu, fotografije se mogu napraviti i bez njega, ali se onda morate potruditi da budu jasne.

Udaljenost između kamere i mreže mora biti takva da mreža ispunjava fotografiju što je više moguće. Potrebno je da svaka fotografija pokriva sve tačke mreže.



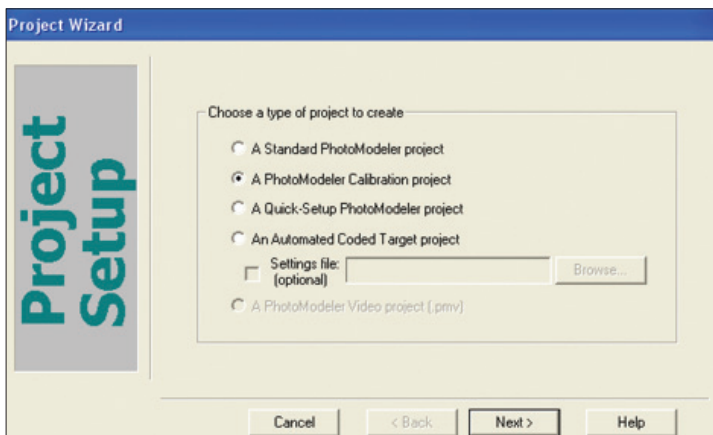
Primjer – fotografija pokriva donju stranu mreže



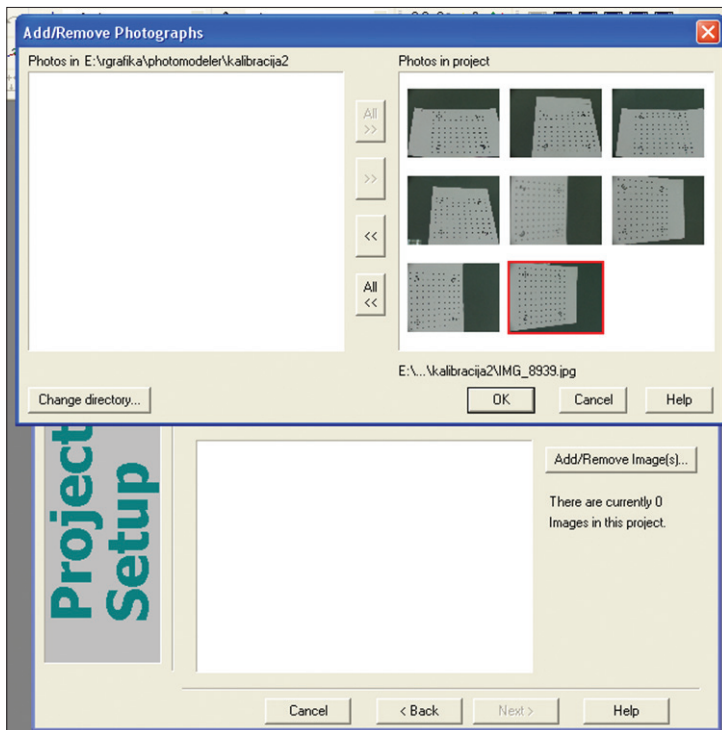
Primjer: ova fotografija pokriva desnu stranu mreže

2. Procesiranje fotografija

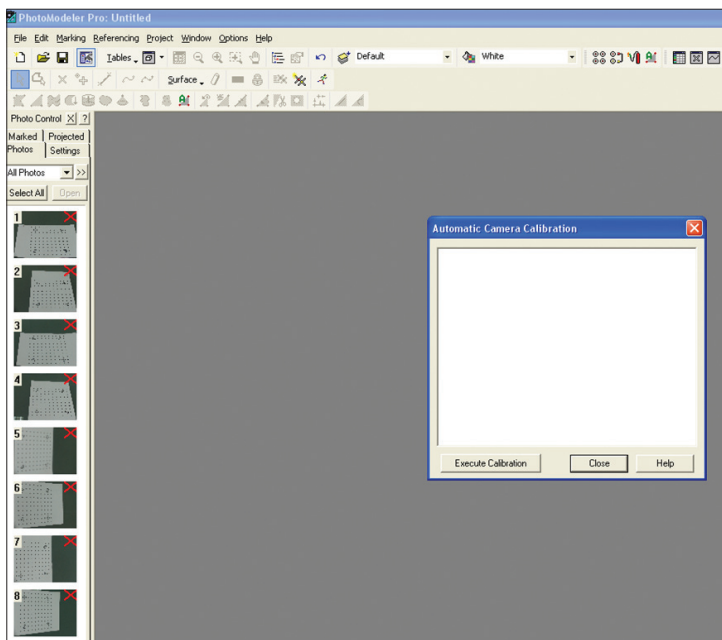
Otvoriti PhotoModeler. Napraviti novi projekat: File > New Project. U Project Wizardu izabrati: A PhotoModeler Calibration Project.



Kliknuti na next. U nastavku wizarda unijeti ime za kameru, te odgovoriti na pitanja o tipu kamere (da li ima zoom, koji je tip kamere itd). U nastavku unijeti napravljene fotografije i kliknuti na All kako bismo ih dodali u projekat:

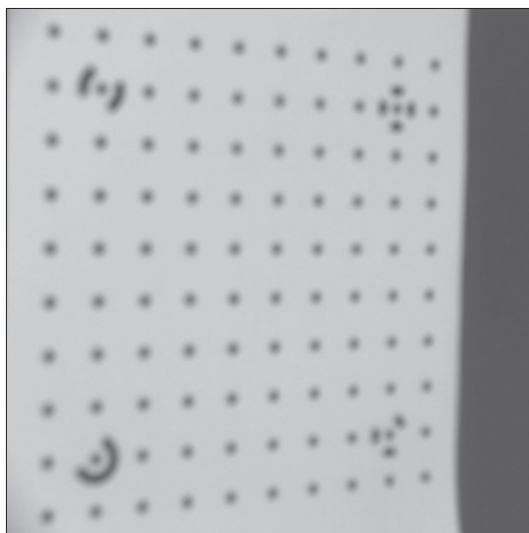
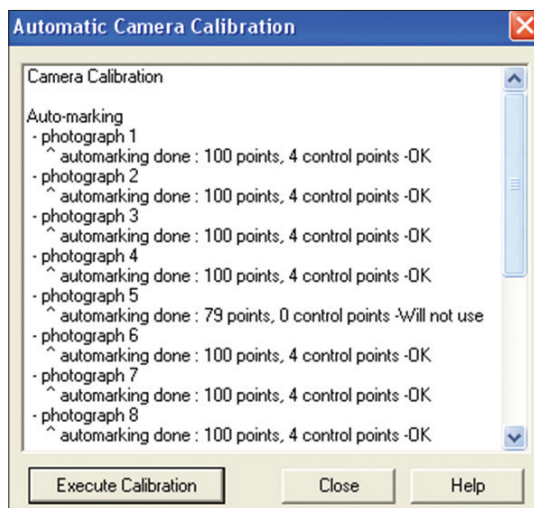


Nakon unosa fotografija kliknuti na finished, i zatim na Execute Calibration:



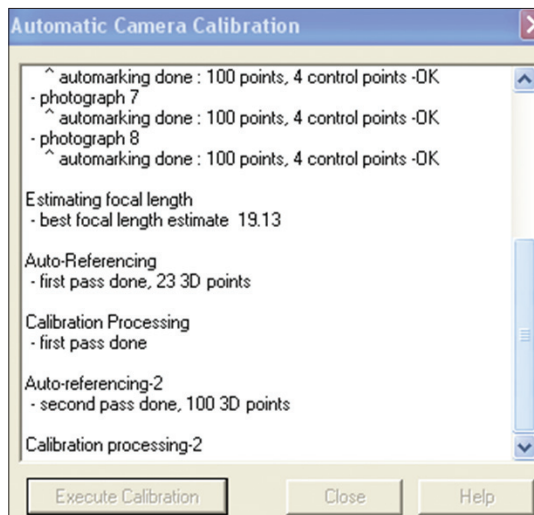
Nakon ovoga počinje proces automatskog markiranja tačaka mreže na fotografijama. Mreža sadrži tačno 100 tačaka od čega su 4 tačke tzv. kontrolne tačke. To su tačke sa specijanim znakovima. Program ne mora detektovati svih 100 tačaka na svakoj fotografiji. Nekada se može desiti da ih detektuje manje, ili čak i više, u slučaju kada detektuje pogrešne tačke na podlozi. Pored svake fotografije se mora nalaziti znak OK. Ukoliko veći broj fotografija nije markirana sa OK, onda morate ponoviti fotografisanje mreže pridržavajući se uputstava sa početka vježbe.

Na sljedećem primjeru od 8 fotografija se vidi kako je na 7 fotografija detektovano po tačno 100 tačaka i po 4 kontrolne tačke. Također, vidi se da je na fotografiji br. 5, koja je neoštra, detektovano tek 76 tačaka i da zbog toga neće biti uzeta u procesu kalibracije. Kako bilo, i dalje postoji dovoljan broj fotografija kako bi se proces kalibracije mogao nastaviti.



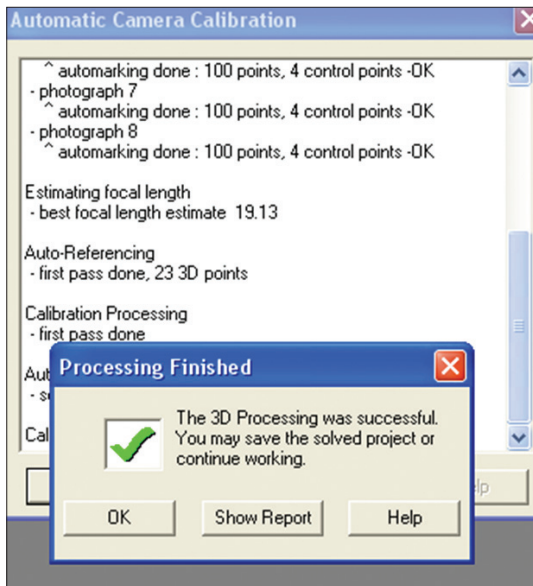
Primjer neoštre fotografije koja se neće uzeti u obzir pri kalibraciji

U procesu kalibracije se dalje referenciraju markirane tačke.

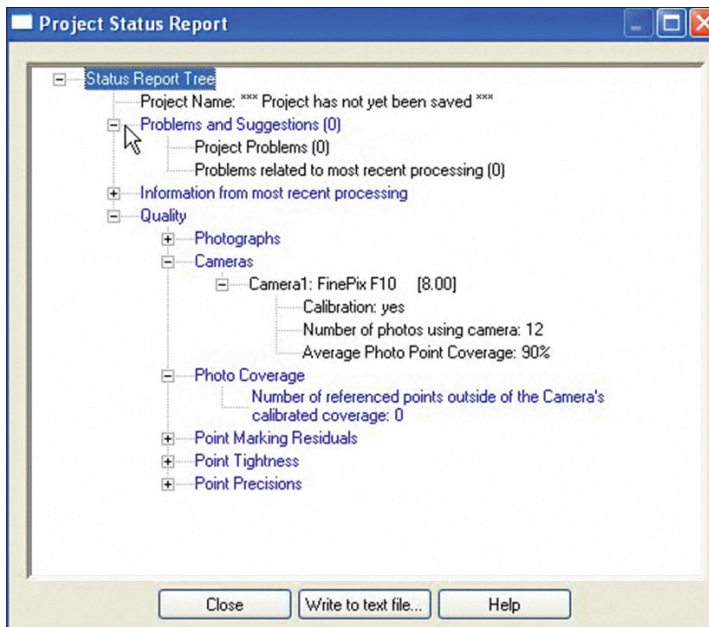


Sa primjera se vidi da je 23 od 100 tačaka referencirano u prvom prolazu. Nakon ovoga počinje proces kalibracije u kojem se izračunavaju parametri kamere. Sa primjera se vidi da je u drugom prolazu referencirano svih 100 tačaka. Nakon još jednog procesa kalibracije projekat je kompletiran. Završni korak je provjera rezultata kalibracije.

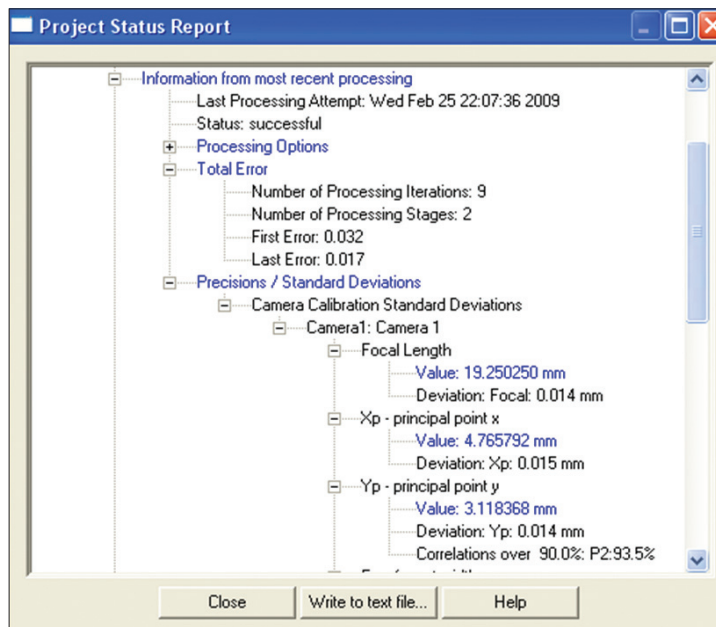
Kliknuti na show reports:



Ukoliko postoje problemi kod kalibracije naći ćete ih zajedno sa sugestijama pod Problems and suggestions sekcijom:

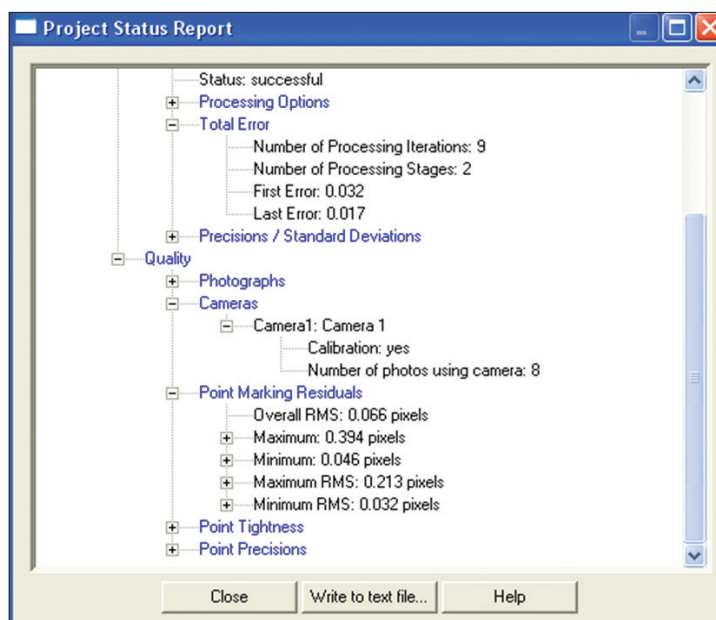


Pod total error sekcijom last error mora imati vrijednost od oko 1 ili nižu:



Ukoliko je error mnogo veći od 1 postoji problem sa vašim fotografijama, npr. može se desiti da ste pomjerali mrežu prilikom fotografisanja ili su pronađeni neoštri targeti.

Quality sekcija se koristi da bi se vidjelo koliko je ispravan proces kalibracije bio. Provjerimo najprije Point Marking Residuals. Residual je razlika između mjesta na kojem je korisnik označio tačku i onog kojeg program očekuje. Važan broj ovdje je Maximum residual:



U našem je primjeru Maximum Marking Residual 0,394 piksela. Ova bi vrijednost uvijek morala biti manja od 1,5 piksela. Sve residuals vrijednosti bi trebale biti manje od 1 kada je projekat dobro urađen. Što su vrijednosti manje to je projekat bolji. Završimo sa provjerom tako što kliknemo na Close. Kalibracija je sada završena.

Spasimo kalibriranu kameru kao Calibration.pmr fajl

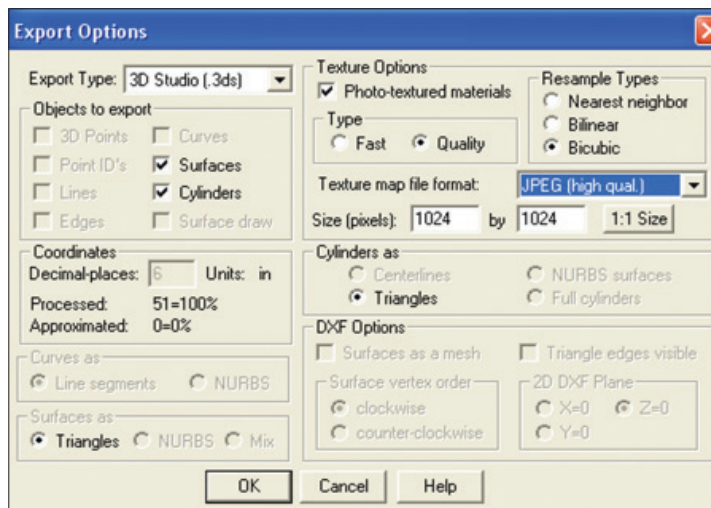
9.4.4. Dodatna obrada modela u 3ds max-u

Model stećka, napravljen u Photodeleru, potrebno je doraditi u 3DS Maxu kako bi se napravile realne neravnine na površini stećka. U tu svrhu koristi se tzv. “Displacement mapping”.

Displacement mapiranje je tehnika kojom proceduralna ili image tekstura manipulira pozicijom renderovanih fejsova. Za razliku od Normal ili Bump tehnika mapiranja, koje kriveći normale na objektu stvaraju iluziju neravnina, displacement mapping zaista pravi neravnine na geometriji.

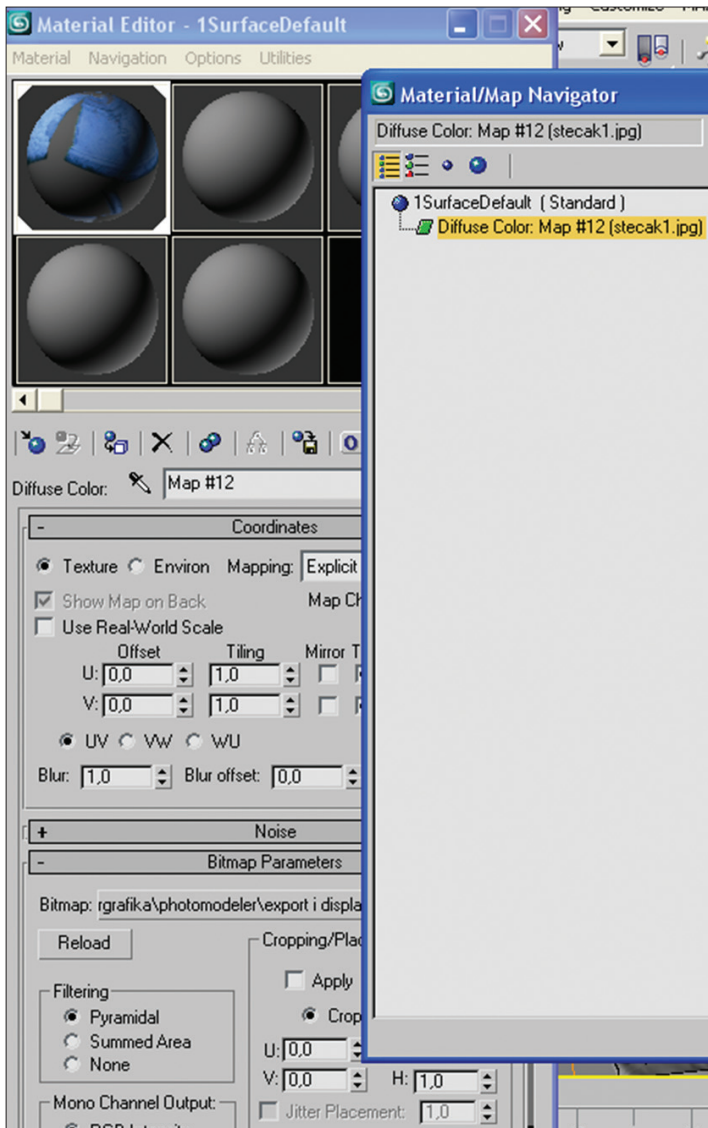
Ova vrsta mapiranja koristi grayscale informacije teksture prema kojima vrši modifikaciju geometrije na koju je tekstura primijenjena i to tako da za neutralnu sivu boju displacement nema efekat, za bijelu boju displacement radi tako da “izvlači” geometriju prema vani a za crnu tako da “uvlači” geometriju prema unutrašnjosti objekta. Da bi displacement uopšte mogao imati efekta potrebno je da je geometrija dovoljno detaljna.

Exportovati model stećka iz Photodelera u 3DS format. Ostaviti default-ne postavke sve osim za “texture map file format”, odabrati JPEG:

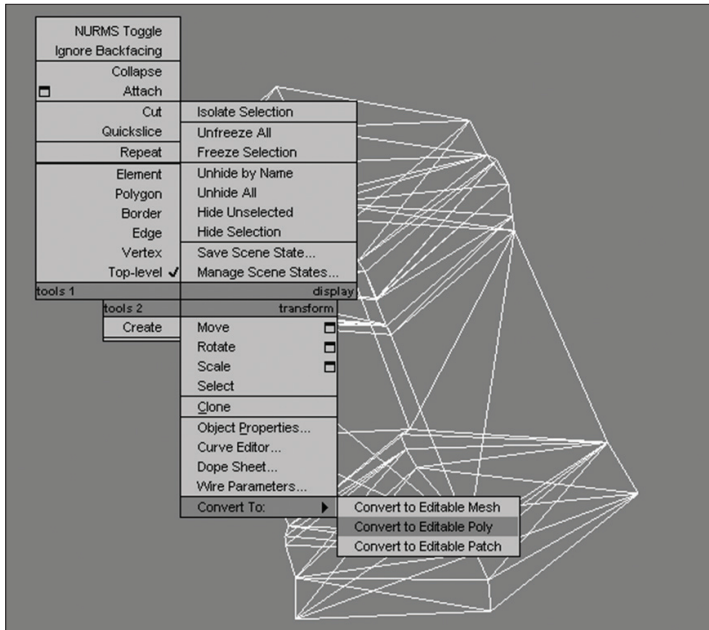


U 3DS Maxu uraditi import modela sa File > Import. Kod Importa Odabrati “Completely replace current scene”.

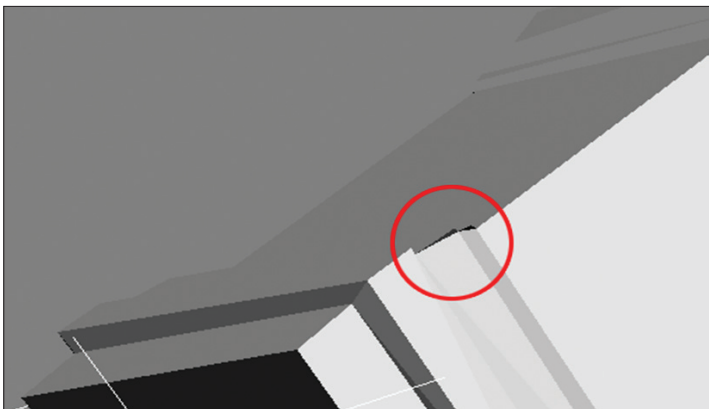
Otvoriti Material editor (hotkey M). Selektovati prvo prazno polje, kliknuti na “Get Material” a zatim iz “Browse” from “Scene” izabrati napravljeni materijal sa teksturom izvezenom iz Photomodelera.



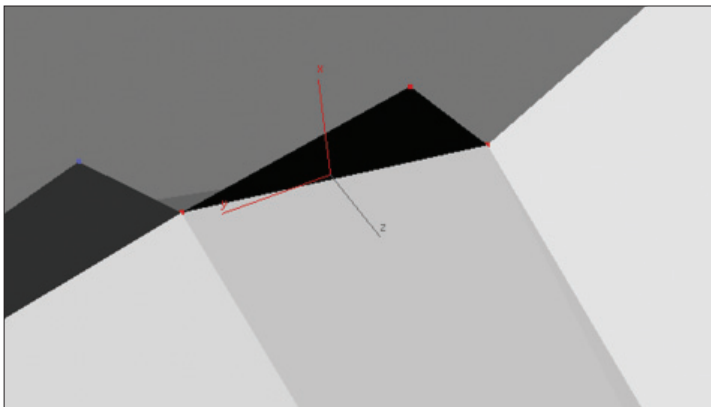
Ugasiti Material editor, kliknuti na objekat desnim klikom i pretvoriti ga u Editable Poly.



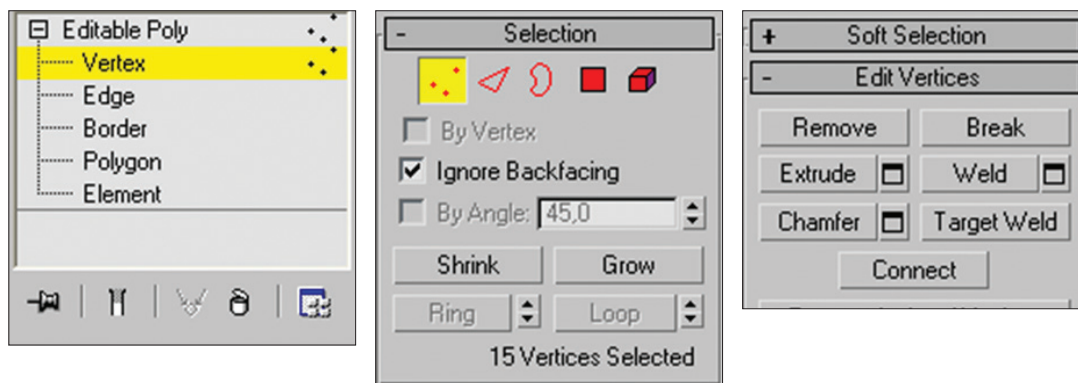
Uključiti “smooth+highlights” prikaz modela (desni klik na label prozora) i provjeriti ima li objekat nezatvorenih površina.



Izabrati vertex podnivo te selektovati vrhove nezatvorenih površina:



Pod “edit vertices” sekcijom kliknuti na settings za operaciju Weld:

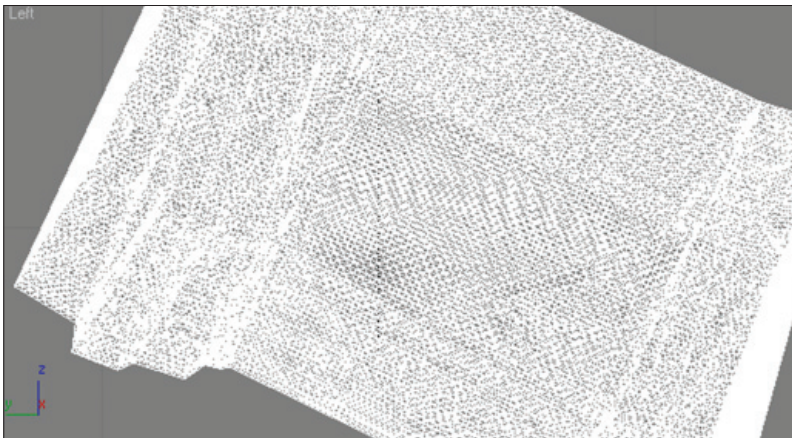


Podešavati weld treshold sve dok se selektovani vrhovi ne spoje po želji.

Za ručno podešavanje vrhova koristiti Target Weld opciju (ručno selektirajući i povezujući vrhove koje želite spojiti).

Kliknuti na Editable Poly na steku i dodati novi Subdivide modifikator. Na početku tutorijala rečeno je da je za displacement efekat potrebno da je geometrija dovoljno detaljna. Kako geometrija stečka to trenutno nije, koristimo subdivide modifikator kako bismo je “podijelili” i napravili više detalja.

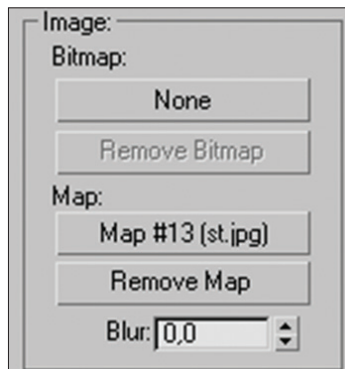
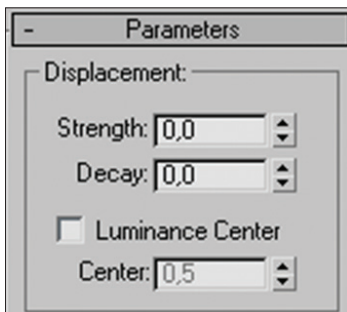
Podesiti “size” prema želji (što više geometrije to će displacement mapiranje raditi bolje, ali će i model postati kompleksniji za rukovanje)



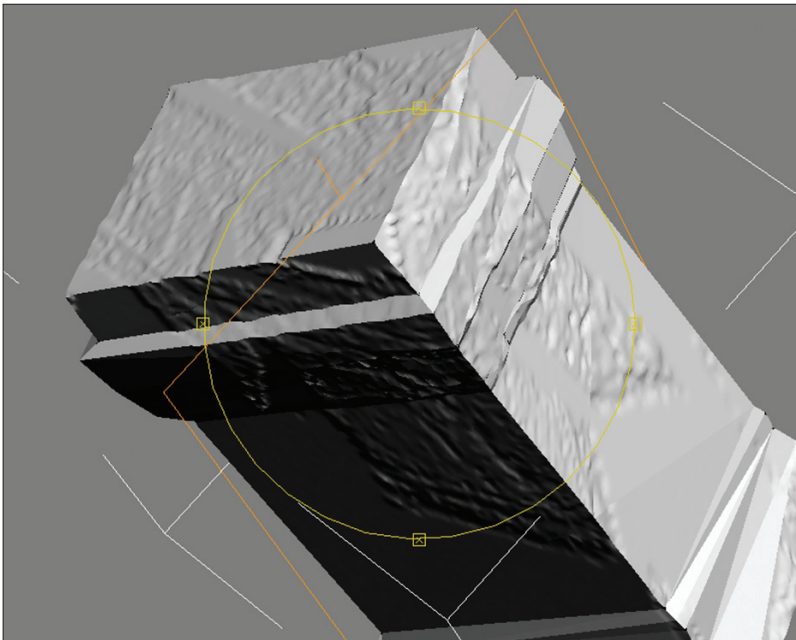
Izaći iz podnivoa i dodati “Displace modifikator”.

U Photoshopu, ili nekom drugom alatu za obradu slike, otvoriti mapu izveženu iz Photomodelera (nalazi se u istom folderu u koji ste izvezli i model), pretvoriti je u Grayscale (image > mode > grayscale), uraditi Invert sivih boja (image > adjustments > invert) te spasiti mapu pod imenom “displace” u formatu jpg.

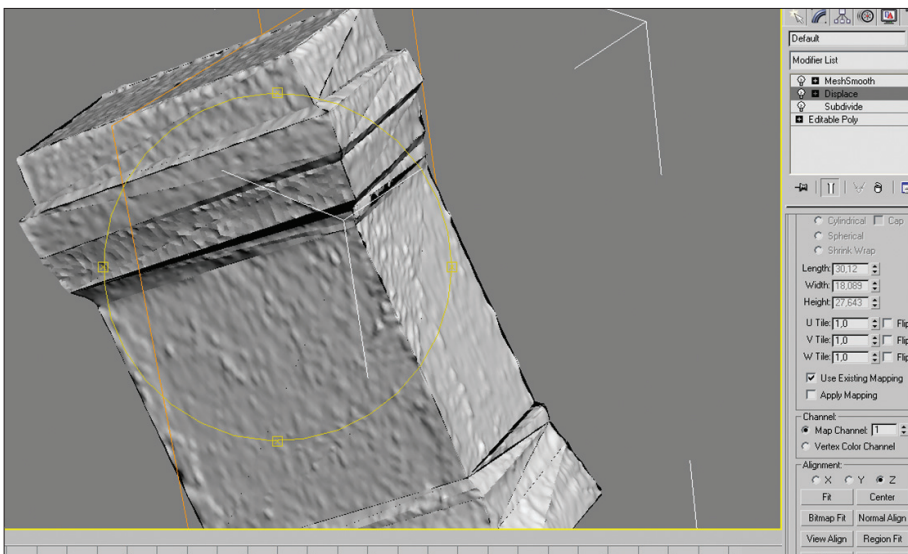
Na parametrima Displace modifikatora najprije kliknuti na None pod Image > Map i unijeti upravo kreiranu displace mapu.



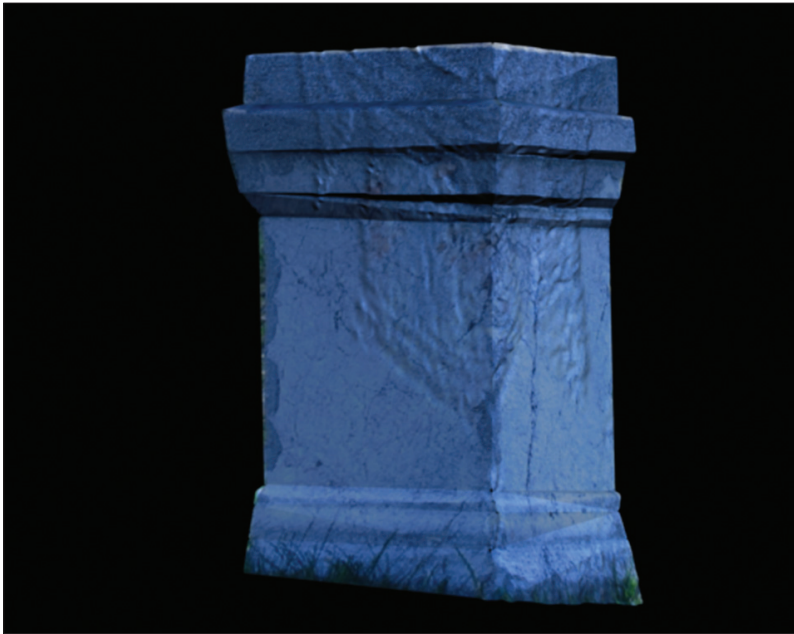
Podesiti Strength (jačina displace-a) vrijednost po želji. Uključiti Luminance Center polje.



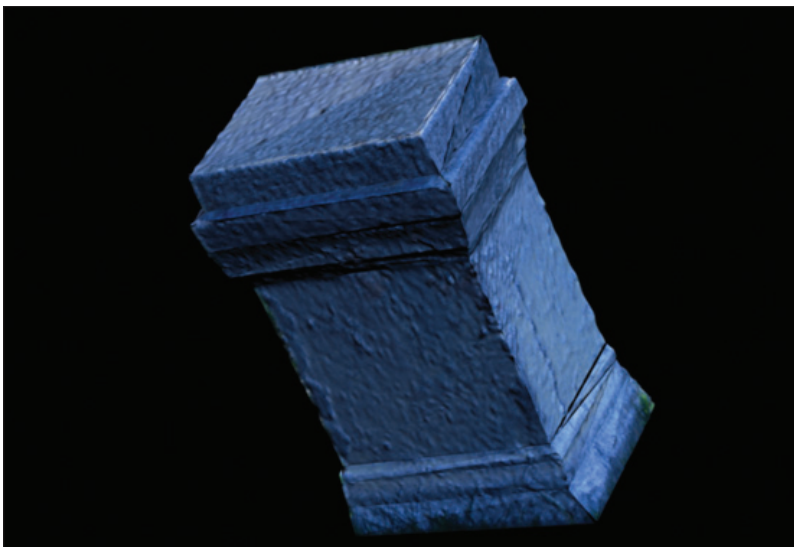
Zavisno od oblika stečka, moguće je dobiti bolji rezultat displacement mappinga ukoliko pod “Map” parametrima umjesto Planar odaberete “use existing mapping”. Pokušati mapirati stečak i na ovaj način.



Nakon što odlučite koju vrstu mapiranja ćete izabrati za vaš model, iznad Displace modifikatora dodati i Mesh Smooth modifikator.



Planar mapping

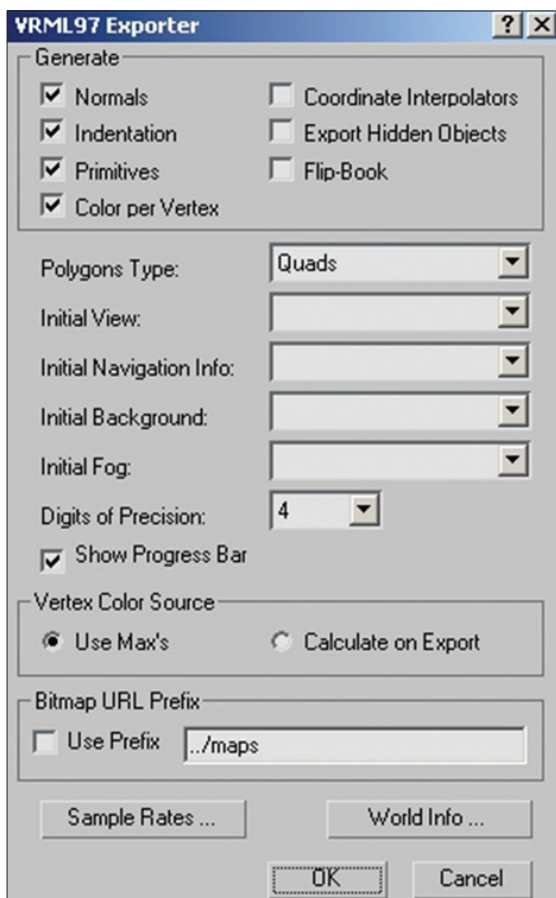


Existing mapping

Na kraju, model je potrebno izvesti u VRML format. VRML je skraćenica za Virtual Reality Modeling Language, i predstavlja standardni metod za prikaz interaktivnih 3D svjetova i objekata na Internetu. Za pregled VRML fajlova potrebno je imati instaliran VRML plug-in.

Uraditi File > Export,

Izabrati VRML97 file format, dati ime fajlu i postaviti parametre kao na slici:



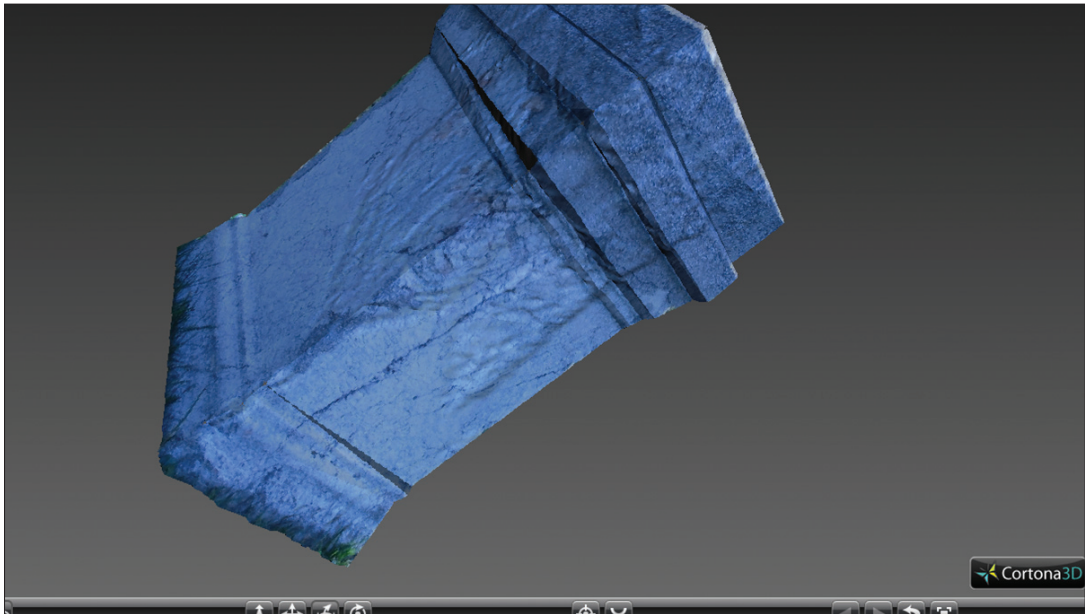
Budite sigurni da se tekstura modela stečka nalazi u istom direktoriju u kojem ste izvezli VRML fajl. U suprotnom neće biti učitana kada otvorite fajl u VRML vieweru.

Za pregled VRML fajla najbolje je koristiti Cortona player. Za verzije Firefoxa od 3.0.4 preporučena je instalacija verzije 6 Cortona plug-ina

http://www.cortona3d.com/downloads/Cortona_Viewer/cortbeta.msi

zbog problema nekompatibilnosti sa prethodnim verzijama plug-ina

Nakon što model otvorite u VRML fajlu, ukoliko nije vidljiv kliknuti na "Fit" ikonu 



10. LITERATURA

- [1] Isaac Victor Kerlow, *The Art of 3-D Computer Animation and Effects*, Third Edition, John Wiley and Sons 2004
- [2] R. Brinkmann – *The Art and Science of Digital Compositing*, Academic Press 1999.
- [3] J. Vince, *3D Computer Animation*, Addison-Wesley Publishers 1992.
- [4] A. Watt, *3D Computer Graphics*, 3rd Edition, Pearson 2000.
- [5] S. Rizvić, *Kompjuterska grafika i multimedia*, ArkaPress 2004.
- [6] J. T. Kajiya, *The rendering equation*, *Proceedings of Siggraph '86*, pp 143-50
- [7] S. Spencer, *SIGGRAPH 1993 Education*, 1993
- [8] C. Goral, K. Torrance, D. Greenberg, B. Battaile, *Modeling the interaction of light between diffuse surfaces*, *Proceedings of Siggraph 1984*.
- [9] M.M. Oliveira, “Image-Based Modeling and Rendering. Techniques: A Survey,” *RITA - Revista de Inform´atica. Te´oricae Aplicada*, Vol. IX, No. 2, pp.37-66
- [10] Foley, J. et al. *Getting There: The Ten Top Problems Left*. *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 20, No 1, January 2000, pp. 66-68
- [11] Lippman, Andrew. *Movie-Maps: An Application of the Optical Videodisc to Computer Graphics*. *Proceedings of SIGGRAPH 1980*. pp. 32-43
- [12] Chen, Shenchang Eric. *QuickTime VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation*. *Proceedings of SIGGRAPH 1995*. pp. 29-38.
- [13] Chen, Eric S. and Gavin Miller. *Cylindrical to Planar Image Mapping Using Scanline Coherence*. United States Patent number 5,396,583. March 7, 1995.
- [14] Heckbert, P. *Fundamentals of Texture Mapping*. Master’s thesis. Technical Report No. UCB/CSD 89/516. Computer Science Division, University of California, Berkeley
- [15] Chen, Shenchang Eric. *QuickTime VR – An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation*. *Proceedings of SIGGRAPH 1995*. pp. 29-38
- [16] Williams, Lance. *Pyramidal Parametrics*. *Proceedings of SIGGRAPH 1983*. pp. 1-11
- [17] Shum, Heung-Yeung and Li-Wei He. *Rendering with Concentric Mosaics*. *Proceedings of SIGGRAPH 1999*, pp. 299-306.
- [18] Peleg, Shmuel and Joshua Herman. *Panoramic Mosaics by Manifold Projection*. *Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 1997*. pp. 338-343.
- [19] Adelson, E. and J. Bergen. *The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision*. In *Computational Models of Visual Processing*, pp. 3-20, MIT Press, Cambridge, MA, 1991
- [20] Nayar, Shree. *Catadioptric Omnidirectional Camera*. *Proceedings IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 1997. pp. 482-488.
- [21] Levoy, Marc and Pat Hanrahan. *Light Field Rendering*. *Proceedings of SIGGRAPH 1996*, pp. 31-42, 1996
- [22] Gortler, Steven, et al.. *The Lumigraph*. *Proceedings of SIGGRAPH 1996*. pp. 43-54

- [23] LightPack: Light Field Authoring and Rendering Package. Stanford Computer Graphics Laboratory. <http://www-graphics.stanford.edu/software/lightpack>
- [24] McMillan, Leonard. An Image-Based Approach to Three-Dimensional Computer Graphics. Ph.D. Dissertation. UNC Computer Science Technical Report TR97-013, University of North Carolina, April 1997
- [25] Mark, William R., Leonard McMillan and Gary Bishop. *Post-Rendering 3D Warping*. Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics, (Providence, RI), April 27-30, 1997, pp. 7-16.
- [26] Shade, Johnatan., et al. Layered Depth Images. Proceedings of SIGGRAPH 1998, pp. 231-242.
- [27] Oliveira, Manuel M. and Gary Bishop. Image-Based Objects. Proceedings of 1999 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics. pp. 191-198.
- [28] Chang, Chun-Fa, Gray Bishop and Anselmo Lastra. LDI Tree: A Hierarchical Representation for Image-Based Rendering. Proceedings of SIGGRAPH 1999. pp. 291-298.
- [29] Oliveira, Manuel M., Gary Bishop and David McAllister. Relief Texture Mapping. Proceedings of SIGGRAPH 2000. pp. 359-368.
- [30] Debevec, P., C. Taylor and J. Malik. Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. Proceedings of SIGGRAPH 1996, pp. 11-20.
- [31] P. Debevec, M. Cohen, L. McMillan, C. Bregler, Image based modeling, rendering and lighting, Course, Siggraph 1999.
- [32] Taylor, Camilo, Paul Debevec and Jitendra Malik. Reconstructing Polyhedral Models of Architectural Scenes from Photographs. Proceeding of the European Conference on Computer Vision, 1996. pp. 659-668.
- [33] FiatLux film, <http://www.debevec.org/FiatLux/>
- [34] <http://www.geodetic.com/>
- [35] S. Rizvic, Kreiranje digitalnog sadržaja za muzeje u BiH, naučni skup “60 godina Muzeja Hercegovine u Mostaru”, januar 2010.
- [36] Digitalni katalog stećaka, <http://h.etf.unsa.ba/dig-katalog-stecaka/>
- [37] G. Radošević, S. Rizvic, Laser Scanning Versus Improved Photogrammetry in Stećaks Digitization, Central European Semina on Computer Graphics, Bratislava, Slovakia 2010
- [38] P. Cignoni, R. Scopigno, Sampled 3D Models for CH Applications: A Viable and Enabling New Medium or Just a Technological Exercise?, ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, Vol. 1, No. 1, Article 2, June 2008.
- [39] Bernardini, F. And Rushmeier, H. E. 2002. The 3D model acquisition pipeline. Computer Graphics Forum 21, 2, 149–172.
- [40] “Virtuelna rekonstrukcija objekata kulturnog naslijeđa u Bosni i Hercegovini”, UNESCO participation project, 2005, <http://projects.etf.unsa.ba/~unesco/>
- [41] Selma Rizvić, Aida Sadžak, Zikrija Avdagić, The Techniques of Virtual 3D Reconstruction of Heritage Sites in Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, ICAT05
- [42] Projekat “Virtuelno Sarajevo”, 2007, <http://www.virtualnosarajevo.com.ba/>

- [43] Paolo Cignoni, Marco Callieri, Massimiliano Corsini, Matteo Dellepiane, Fabio Ganovelli, Guido Ranzuglia, *MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool*, Sixth Eurographics Italian Chapter Conference, page 129-136, 2008
- [44] S. Rizvic, A. Sadzak, Z. Avdagic, A. Chalmers, Maya Sun Simulation of Bosnian Gravestone Virtual Model, EuroGraphics Italian Chapter, Catania 2006
- [45] Goran Radosevic, Selma Rizvic, Laser Scanning Versus Improved Photogrammetry in Stecaks Digitization, Central European Seminar on Computer Graphics, Bratislava 2010
- [46] V. Hulusic, Optimization Treshold in Sarajevo City Hall Virtual Model for Efficient Web Presentation, CESSG 2007
- [47] A. Sadzak, S. Rizvic, C. Dalton, A. Chalmers - Information Perception in Virtual Heritage Storytelling Using Animated and Real Avatars, SCCG 2007
- [48] www.virtualnosarajevo.com.ba
- [49] V. Žujo, Gazi Isa-beg, utemeljitelj Sarajeva, IsaBegova Tekija, Zbornik radova I međunarodnog skupa Obnova Isa-begove tekije u Sarajevu, 2001.
- [50] Virtuelna rekonstrukcija i web prezentacija Isa-begove tekije na Bentbaši, Proceedings of BIHTEL 06, Sarajevo, 2006
- [51] Selma Rizvić, Aida Sadžak, Anis Zuko, Isa bey's Tekija in Sarajevo - reviving the reminiscence of the past, The Eighth National Conference: New Technologies And Standards - Digitization Of National Heritage, April 15-16, 2009 Belgrade, Serbia
- [52] Isa bey's Tekija web site, <http://www.muzejsarajeva.ba/tekija>
- [53] Proceedings of the International Symposium "Reconstruction of the Isa-bey's tekija in Sarajevo", Sarajevo, 2001
- [54] B. Ramic-Brkic, Z. Karkin, A. Sadzak, D. Selimovic & S. Rizvic, Augmented Real-Time Virtual Environment of the Church of the Holy Trinity in Mostar, Proceedings of VAST 2009, ISBN 978-3-905674-18-7, pg 141-148
- [55] Rizvic S., Sadzak A.: Digital storytelling – representation of Bosnian intangible heritage in the Virtual Sarajevo project, project paper, VAST '08 (2008).
- [56] E. Buza, A. Sadžak, S. Rizvić, Z. Avdagić, Projekat "Virtuelno Sarajevo", Međunarodni simpozijum "Digitalizacija kulturne bastine Bosne i Hercegovine", Sarajevo, 2008
- [57] Vanja Jovišić, Selma Rizvić, Photorealistic reconstruction and multimedia presentation of the medieval fortress in Travnik, SEEDI 2008, Belgrade, Serbia
- [58] Zana Karkin, Selma Rizvić, Virtuelna 3D rekonstrukcija Crkve Svete Trojice u Mostaru, Međunarodni simpozijum "Digitalizacija kulturne bastine Bosne i Hercegovine", Sarajevo, 2008
- [59] Virtual National Museum of Bosnia and Herzegovina, <http://projects.etf.unsa.ba/~vmuzej/>
- [60] Virtualni muzej BH tradicionalnih predmeta <http://www.muzejsarajeva.ba/btp>
- [61] Digitalni katalog stećaka, <http://h.etf.unsa.ba/dig-katalog-stecaka>
- [62] Selma Rizvic, Belma Ramic-Brkic, Aida Sadzak, Očuvanje kulturnog naslijeđa u digitalnom obliku, IV regionalna konferencija o integrativnoj zaštiti, Banja Luka, 2009

PODACI O AUTORU

Dr Selma Rizvić

Nacionalnost: BiH

Maternji jezik: bosanski

Jezici: engleski (govori, piše, čita); njemački, italijanski (osnovno razumijevanje)

Trenutno zaposlenje:

Docent, ETF Sarajevo

Docent, Sarajevo School of Science and Technology,

Rukovodilac Odsjeka elektronskog grafičkog dizajna, BHRT

Kvalifikacije:

doktor nauka, 2007, ETF Sarajevo

magistar, 2002, ETF Sarajevo

dipl. el. ing, 1990, ETF Sarajevo

Istraživanje:

kompjuterska grafika, kompjuterska animacija, Tv dizajn, virtualno kulturno naslijeđe

Projekti:

- Digitalni katalog stećaka
<http://h.etf.unsa.ba/dig-katalog-stecaka/>
- Multimedijalna 3D prezentacija i 3D štampa Saborne crkve u Sarajevu
<http://www.sabornacrkva-sarajevo.org/multimedija.html>
- Virtuelna rekonstrukcija crkve Sv. Trojice u Mostaru
<http://www.crkva-sv-trojice.ba/>
- Virtuelni muzej BH tradicionalnih predmeta
<http://www.muzejsarajevo.ba/btp>
- Virtualna rekonstrukcija Isa-begove tekije u Sarajevu
<http://www.muzejsarajevo.ba/tekija>
- Virtuelni grad Sarajevo
<http://www.virtualnosarajevo.com.ba>
- Virtualni Zemaljski muzej BiH
<http://projects.etf.unsa.ba/~vmuzej/>
- Virtuelna rekonstrukcija objekata kulturnog naslijeđa u Bosni i Hercegovini - UNESCO participation project
<http://projects.etf.unsa.ba/~unesco/>

Publikacije:

Knjige:

- S. Rizvic, E. Kunovac – Računarska grafika, Ministarstvo za obrazovanje, nauku, kulturu i sport Federacije BiH, Sarajevo, 1998.
- S. Rizvic, Kompjuterska grafika i multimedia, Grafo Art Sarajevo, 2004.

Naučni radovi:

- S. Rizvic, B. Ramic-Brkic & A. Sadzak, Digital Storytelling in the Church of the Holy Trinity Virtual Environment, Proceedings of Joint Virtual Reality Conference, JVRC 2009, Lyon, 2009
- Selma Rizvic, Belma Ramic-Brkic, Aida Sadzak, Ocuvanje kulturnog naslijedja u digitalnom obliku, IV regionalna konferencija o integrativnoj zastiti, Banja Luka, 2009
- Selma Rizvić, Digitization and Multimedia Presentation of Cultural Heritage in Bosnia and Herzegovina, 3D Technologies as Communcation Tool of 21st Century, IK3DT 2009, Ljubljana
- Selma Rizvić, Belma Ramić-Brkić, Aida Sadžak, Virtuelna rekonstrukcija i digitalna prezerevacija objekata pravoslavne kulture u BiH, BAM 2009, Sarajevo
- B. Ramic-Brkic, Z. Karkin, A. Sadzak, D. Selimovic & S. Rizvic, Augmented Real-Time Virtual Environment of the Church of the Holy Trinity in Mostar, Proceedings of VAST 2009, ISBN 978-3-905674-18-7, pg 141-148
- Selma Rizvic, Alan Chalmers, Silvester Czanner, Hongbo Du, Andrej Ferko, Diego Gutierrez, Jasminka Hasic, Gina Landor, Zijad Mehic, Matej Novotny, Computer Graphics for the Media Industry - Synthesis of Art and Science, Future of Computer Graphics Education, Budmerice, Slovakia, 2009
- Selma Rizvić, Aida Sadžak, Anis Zuko, Isa bey's Tekija in Sarajevo - reviving the reminiscence of the past, Review of the National Center for Digitization, Publisher: Faculty of Mathematics, Belgrade, Issue: 15/2009, pg 64-72, ISSN: 1820-0109
- S. Rizvic, A. Sadzak, Digital Storytelling - Representation of Bosnian Intangible Heritage in the Virtual Sarajevo Project, VAST 2008, Braga, Portugal
- Anis Zuko , Selma Rizvić, Virtuelna rekonstrukcija i web prezentacija Isa-begove tekije na Bentbaši, BIHTEL 2008, Sarajevo
- Belma Ramic-Brkic , Selma Rizvić, XVR (eXtreme Virtual Reality) – A new Web 3D Technology, BIHTEL 2008, Sarajevo
- Vanja Jovišić , Selma Rizvić, Photorealistic reconstruction and multimedia presentation of the medieval fortress in Travnik, Review of the National Center for Digitization, Publisher: Faculty of Mathematics, Belgrade, Issue: 13/2008, pg 65-73, ISSN: 1820-0109
- Zana Karkin, Selma Rizvić, Virtuelna 3D rekonstrukcija Crkve Svete Trojice u Mostaru, Međunarodni simpozijum “Digitalizacija kulturne bastine Bosne i Hercegovine”, Sarajevo, 2008

- Selma Rizvić, Dino Selimović, Postupak 3D laserskog skeniranja kao dio procesa digitalizacije objekata kulturnog naslijeđa, Međunarodni simpozijum “Digitalizacija kulturne baštine Bosne i Hercegovine”, Sarajevo, 2008
- E. Buza, A. Sadžak, S. Rizvić, Z. Avdagić, Projekat “Virtuelno Sarajevo”, Međunarodni simpozijum “Digitalizacija kulturne baštine Bosne i Hercegovine”, Sarajevo, 2008
- Aida Sadžak, Selma Rizvić, Alan Chalmers, The Influence of Storytelling Quality on the Human Perception of Computer Animation, VAST 2007, Brighton, UK
- Selma Rizvić, Aida Sadžak, Digitalizacija objekata kulturnog naslijeđa u projektu Virtuelno Sarajevo, Sarajevo, IBAM 2007
- Selma Rizvic, Aida Sadzak, Emir Buza, Alan Chalmers - Virtual reconstruction and digitalization of cultural heritage sites in Bosnia and Herzegovina, Cetinje, SEEDI 2007, Review of the National Center for Digitization, 82 – 90, Publisher: Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia, ISSN: 1820-0109
- A. Sadzak, S. Rizvic, C. Dalton, A. Chalmers – Information Perception in Virtual Heritage Storytelling Using Animated and Real Avatars, SCCG 07
- V. Hulusic, S. Rizvic – Virtual 3D model optimization for Web implementation, BIHTEL 06
- E. Buza, A. Sadzak, S. Rizvic, Z. Avdagic – Multimedia Contents on the Web, BIHTEL 06
- S. Rizvic, A. Sadzak, Z. Avdagic, A. Chalmers - Visual Perception of Facial Animation, SCCG 2006
- S. Rizvic, A. Sadzak, Z. Avdagic, A. Chalmers, Maya Sun Simulation of Bosnian Gravestone Virtual Model, EuroGraphics Italian Chapter, Catania 2006.
- Selma Rizvić, Aida Sadžak, Zikrija Avdagić, The Techniques of Virtual 3D Reconstruction of Heritage Sites in Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, ICAT05
- S. Rizvic, S. Jeginovic, S. Konjicija, Z. Avdagic, Static Linking of Phonemes to Polygonal 3D Model's Facial Expressions, SCCG 2005
- S. Rizvic, Z. Avdagic - Phoneme Reduction in Automated Speech for Computer Animation, SCCG 2004
- S. Rizvic, Z. Avdagic – Model for Speech Animation based on MaxScript Scripting Language, Sarajevo, IKT 2003
- S. Rizvić - Broadcast Design Application of Computer Graphics, Graz, EWV 2002

Referirane animacije:

- Chalmers A.G. Rizvic S., Gutierrez D. Sundstedt V. Dust and Light: Reconstructing Ancient Egypt. Eurographics Animation Festival, September 2006.
- Rizvic S. Sadzak. A – Sun Simulation of Bosnian Gravestone Virtual Model – Computer Animation Contest winner, SCCG 06

Organizacija konferencija

- Conference Chair, The fifth SEEDI International Conference: Digitization of cultural and scientific heritage, May 19-20, 2010, Sarajevo, BiH
- IPC Member, STARC Committee Co-Chair VAST 2010
- Local Organizing Chair - 19th Eurographics Symposium on Rendering, Sarajevo 2008.
- Organizing Committee Member - First International Symposium on Digitalization of Cultural Heritage of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo 2008.
- International Program Committee Member and Reviewer - Central European Seminar on Computer Graphics, annual conference, Slovakia
- Reviewing Board Member – Graphite 2006: 4th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and South East Asia, Kuala Lumpur, December 2006.
- Posters Reviewing Board Member - SIGGRAPH 2006
- Organizing Committee Member – BIHTEL06, Sarajevo
- Organizing Committee Member – ICAT05, Sarajevo
- Organizing Committee Member – BIHTEL04, Sarajevo
- Organizing Committee Member – IKT03, Sarajevo

Teze:

Mr: Kompjuterska grafika u televizijskom dizajnu

Dr: Automatska animacija govora poligonalnog modela sa pretprocesiranjem na bazi vještačkih neuralnih mreža

Web sajt:

<http://people.etf.unsa.ba/~srizvic/>

